



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISIS POLYURETHANE COATING PADA PELAPISAN
MATERIAL BAJA ASTM A36 DENGAN BEBERAPA MEDIA
KOROSI

DANANG KINARYA WIDAWARDHANA
NRP. 4313 100 146

Dosen pembimbing :

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D

Wimala L. Danistha, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT - MO 141326

THE ANALYSIS OF *POLYURETHANE* COATING ON COATING
PROCESS OF ASTM A36 STEEL WITH VARIOUS CORROSION
MEDIA

DANANG KINARYA WIDAWARDHANA
NRP. 4313 100 146

Supervisor :

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D

Wimala L. Danistha, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

**ANALISIS POLYURETHANE COATING PADA PELAPISAN
MATERIAL BAJA ASTM A36 DENGAN BEBERAPA MEDIA KOROSI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Danang Kinarya Widawardhana

NRP. 4313 100 146

Disetujui oleh:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Wimala L. Danistha, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc. (Penguji 1)

4. Yoyok Setyo H., S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 2)

5. Dita Marina Chamelia, S.T., M.T. (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2017

ANALISIS *POLYURETHANE COATING* PADA PELAPISAN MATERIAL BAJA ASTM A36 DENGAN BEBERAPA MEDIA KOROSI

Nama : Danang Kinarya Widawardhana / 4313 100 146

Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS

Dosen Pembimbing : 1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

2. Wimala L. Danistha, S.T., M.T.

ABSTRAK

Bisnis industri minyak dan gas semakin berkembang seiring perkembangan jaman, baik itu eksplorasi maupun eksploitasi minyak dan gas. Seiring dengan perkembangannya, dibutuhkan pula sarana dan prasarana yang mampu menunjang kegiatan produksi minyak dan gas. Sarana dan prasarana yang dimaksud bisa berupa anjungan lepas pantai maupun sistem perpipaan (*pipelines*). Dalam menunjang kinerjanya, anjungan lepas pantai dan sistem *pipeline* yang diinstal di bawah laut perlu dilindungi dari lingkungan bawah laut yang cukup ganas. Hal ini dilakukan untuk menambah umur operasional serta menghindari terjadinya korosi. Salah satu cara melindungi pipa bawah air adalah dengan cara melapisinya dengan *coating*. Sejauh ini, sudah banyak dikembangkan bahan-bahan yang digunakan sebagai *coating*. Salah satunya adalah *polyurethane*. *Polyurethane* adalah polimer hasil reaksi antara *isocyanate* dengan alkohol derajat tinggi atau *polyol*. Pada penelitian ini, dilakukan analisis *polyurethane* sebagai bahan untuk *coating* pada baja ASTM A36. Kemudian, dilakukan beberapa pengujian pada baja yang dilapisi *coating*. Pada pengujian adhesi *pull-off test*, didapatkan hasil kekuatan adhesi yang memenuhi standar *top coat*. Kemudian pada pengujian ketahanan panas, *coating* hanya mengalami pemudaran warna tanpa membuat terkelupas. Dari hasil pengujian laju korosi, diketahui *coating* dapat melindungi spesimen dari korosi yaitu sebesar 24,36% pada media korosi NaCl dan 45,66% pada media korosi FeCl₃. Hal ini juga dapat terlihat dari hasil uji morfologi yang dilakukan pada spesimen yang diuji korosi.

Kata Kunci—Adhesi, *Coating*, Ketahanan Panas, Korosi, *Polyurethane*

THE ANALYSIS OF POLYURETHANE COATING ON COATING PROCESS OF ASTM A36 STEEL WITH VARIOUS CORROSION MEDIA

Name : **Danang Kinarya Widawardhana / 4313 100 146**

Department : **Ocean Engineering**

Faculty of Marine Technology - ITS

Advisor : **1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.**

2. Wimala L. Danistha, S.T., M.T.

ABSTRACT

Oil and gas industry is developing through the years, either exploration or exploitation activity of oil and gas. Along with its development, supplementary facilities are needed to support the production of oil and gas activity. The supplementary facilities mentioned can be offshore structures or pipeline system. To support its work, offshore structures or pipeline system which are installed underwater need to be protected from the deep underwater environment. It is done to add the operational age and also to prevent corrosion occurrence. One way to protect underwater pipeline is the use of coating as a protection. A lot of material have been developed as a coating agent. One of them is polyurethane. Polyurethane is a polymer as a result of reaction between isocyanate with high degree alcohol called polyol. In this research, done the analysis of polyurethane as a coating agent on ASTM A36 steel. Then, several tests are done toward the coated steel. On pull-off adhesion test, adhesion which satisfies the top coat requirement is reached. Then on the fire retardancy test, coating only experience a slight discoloration. From the corrosion rate test, it is known that coating could protect the specimen from corrosion as much as 24,36% in NaCl and 45,66% in FeCl₃. This can also be observed from the morphology test result that has been done toward the specimen.

Keywords—Adhesion, Coating, Corrosion, Fire Retardancy, Polyurethane

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Tugas Akhir yang penulis buat ini berjudul “Analisis Polyurethane Coating pada Pelapisan Material Baja ASTM A36 dengan Beberapa Media Korosi”

Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat kelulusan dalam Program Sarjana di Departemen Teknik Kelautan FTK ITS.

Dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini, penulis tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan Laporan Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk ke depannya.

Surabaya, 18 Juli 2017

Penulis,

Danang Kinarya Widawardhana

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah terlibat dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir, di antaranya kepada :

1. Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua penulis yang tanpa hentinya memberikan dukungan baik secara jasmani maupun rohani.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I penulis yang telah memberikan bimbingan, saran, dan nasihat kepada penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Ibu Wimala L. Danistha, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II penulis yang telah memberi masukan kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Eng. Rudi Waluyo P., S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen di Departemen Teknik Kelautan yang telah membimbing dan memberikan ilmunya kepada penulis selama menjalani studi di Departemen Teknik Kelautan.
7. Bapak dan Ibu dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menguji penulis.
8. Karyawan Tata Usaha beserta staf di Departemen Teknik Kelautan atas bantuan administrasi.
9. Bapak Larasanto, Bapak Didiek, serta teknisi di CV. Cipta Agung yang telah banyak membantu penulis selama menjalani Tugas Akhir di sana.
10. Bapak Mantri serta teknisi di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Mesin FTI ITS yang telah banyak membantu penulis selama menjalani Tugas Akhir di sana.
11. Mas Fahmi dan Mbak Linda dari Laboratorium Elektrokimia Departemen Teknik Kimia FTI ITS yang telah banyak membantu penulis selama menjalani Tugas Akhir di sana.
12. Kawan-kawan angkatan 2013 “Valtameri”.
13. Kawan-kawan Tugas Akhir yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
14. Semua pihak yang telah terlibat dalam terselesaikannya Tugas Akhir penulis.

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	iii
Abstrak.....	iv
Kata Pengantar.....	vi
Ucapan Terima Kasih	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Grafik.....	xiii

BAB I Pendahuluan

1

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Hipotesis	2

BAB II Tinjauan Pustaka.....

3

2.1 Tinjauan Pustaka.....	3
2.2 Dasar Teori.....	3
2.2.1 Baja	
2.2.1.1 Baja ASTM A36	3
2.2.2 <i>Polyurethane</i>	4
2.2.3 Korosi.....	4
2.2.3.1 Jenis Korosi.....	4
2.2.4 Laju Korosi	9
2.2.5 <i>Coating</i> (Pelapisan).....	10
2.2.5.1 Mekanisme Cat Melawan Korosi.....	10
2.2.6 Sel 3 Elektroda	11

2.2.7 <i>Pull Off Adhesion Tester</i>	12
2.2.8 <i>Stereo Microscope</i>	18
BAB III Metodologi Penelitian	19
3.1 Metode Penelitian	19
3.2 Preparasi Material	21
3.3 Preparasi <i>Coating Polyurethane</i>	23
3.4 Pelapisan <i>Coating</i> pada Material	24
3.5 Melakukan Uji Adhesi	27
3.6 Melakukan Uji Ketahanan Panas	30
3.7 Melakukan Uji Laju Korosi	31
3.8 Melakukan Uji Morfologi	34
BAB IV Hasil dan Pembahasan	35
4.1 Pengujian Adhesi <i>Pull-Off Test</i>	35
4.2 Pengujian Ketahanan Panas	38
4.3 Pengujian Laju Korosi	39
4.4 Pengujian Morfologi	41
4.5 Pengujian Morfologi pada Spesimen yang Diuji Ketahanan Panas.....	42
4.6 Penambahan Spesimen Uji Adhesi <i>Pull-Off Test</i>	44
BAB V Kesimpulan dan Saran	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
Daftar Pustaka	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Korosi Homogen	5
Gambar 2.2 Korosi Galvanik	5
Gambar 2.3 <i>Crevice Corrosion</i>	6
Gambar 2.4 <i>Selective Leaching</i>	6
Gambar 2.5 <i>Pitting Corrosion</i>	7
Gambar 2.6 <i>Intergranular Corrosion</i>	7
Gambar 2.7 <i>Stress Corrosion</i>	8
Gambar 2.8 Mekanisme Terjadinya Korosi Erosi	8
Gambar 2.9 <i>Erosion Corrosion</i>	8
Gambar 2.10 <i>Fretting Corrosion</i>	9
Gambar 2.11 Korosi Biologi	9
Gambar 2.12 Sel 3 Elektroda	12
Gambar 2.13 <i>Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type I</i>	9
Gambar 2.14 <i>Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type II</i>	10
Gambar 2.15 <i>Self-Aligning Adhesion Tester Type III</i>	11
Gambar 2.16 <i>Self-Alignment Adhesion Tester Type IV</i>	12
Gambar 2.17 <i>Self-Alignment Adhesion Tester Type V</i>	13
Gambar 2.18 <i>Stereo Microscope</i>	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	20
Gambar 3.2 Sertifikat Pengujian Baja ASTM A36	21
Gambar 3.3 Material Baja ASTM A36	21
Gambar 3.4 Amplas Gerinda <i>grid 24</i>	22
Gambar 3.5 Amplas Gerinda <i>grid 120</i>	22
Gambar 3.6 Spesimen yang telah Digerinda	22
Gambar 3.7 Spesimen yang telah Diproses <i>Blasting</i>	23
Gambar 3.8 <i>Polyurethane</i>	23
Gambar 3.9 <i>Hardener</i>	24
Gambar 3.10 Alat Pengukur Kelembaban Udara	24
Gambar 3.11 Alat Pengukur Suhu Permukaan Spesimen	25
Gambar 3.12 <i>Elcometer</i>	25
Gambar 3.13 Alat Pengukur Ketebalan <i>Coating</i>	26
Gambar 3.14 Proses Penyemprotan <i>Coating</i>	26

Gambar 3.15 Spesimen yang Telah Dilapisi <i>Coating</i>	27
Gambar 3.16 <i>Self-Aligning Adhesion Tester Type V</i>	27
Gambar 3.17 Perekat Adhesif <i>Araldite</i>	28
Gambar 3.18 <i>Dolly</i>	28
Gambar 3.19 Spesimen yang Telah Ditempeli <i>Dolly</i>	28
Gambar 3.20 Persiapan Pengujian <i>Pull-Off</i>	29
Gambar 3.21 Proses Pemompaan Alat <i>Adhesive Tester</i>	29
Gambar 3.22 Spesimen yang Telah Diuji Adhesi.....	30
Gambar 3.23 Alat <i>Furnace</i>	30
Gambar 3.24 Tampilan <i>Software Nova</i>	34

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Suhu yang Digunakan untuk Pengujian Ketahanan Panas	30
Tabel 3.2 Larutan yang Digunakan sebagai Media Korosi.....	32
Tabel 3.3 Penyusunan Spesimen pada Alat Uji Laju Korosi.....	33
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Pull-Off Test</i>	35
Tabel 4.2 Hasil <i>Pull-Off Test</i> Spesimen A.....	36
Tabel 4.3 Hasil <i>Pull-Off Test</i> Spesimen B	36
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Ketahanan Panas Spesimen	38
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Laju Korosi pada Spesimen.....	39
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Morfologi pada Spesimen yang Diuji Korosi.....	41
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Morfologi pada Spesimen yang Diuji Ketahanan Panas	43
Tabel 4.8 Hasil <i>Pull-Off Test</i> Spesimen A.....	44
Tabel 4.9 Hasil <i>Pull-Off Test</i> Spesimen B	45
Tabel 4.10 Hasil <i>Pull-Off Test</i> Spesimen C	45

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hasil Pengujian Adhesi <i>Pull-Off Test</i> pada Spesimen	37
Grafik 4.2 Perbandingan Laju Korosi pada Beberapa Media Korosi	40
Grafik 4.3 Perbedaan Hasil Pengujian Adhesi <i>Pull-Off Test</i> pada Spesimen A dan B	45
Grafik 4.4 Hasil Pengujian Adhesi <i>Pull-Off Test</i> pada Spesimen A, B, dan C	46

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam perkembangan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas lepas pantai, penggunaan anjungan lepas pantai maupun pipa bawah laut (*pipelines*) telah umum digunakan untuk berbagai macam kebutuhan. Anjungan lepas pantai maupun pipa bawah laut (*pipelines*) mempermudah kegiatan produksi minyak dan gas lepas pantai. Dalam praktiknya, sarana dan prasarana lepas pantai tersebut beroperasi di laut baik itu laut dangkal maupun laut dalam. Lingkungan laut merupakan lingkungan yang korosif. Oleh karena itu, anjungan lepas pantai dan pipa bawah laut sangat rentan mengalami korosi.

Secara spesifik korosi didefinisikan sebagai kumpulan dari keseluruhan proses dengan jalan dimana metal atau *alloy* yang digunakan untuk material struktur berubah bentuk dari bersifat metal menjadi beberapa kombinasi dari kondisi yang disebabkan oleh interaksi dengan lingkungannya (Dewi, 2011). Korosi merupakan masalah yang harus diatasi agar tidak terjadi kerugian. Menurut Rahuma (2014), memerangi korosi dalam industri minyak dan gas adalah yang terpenting sebab kerugian ekonomi karena korosi di industri ini sangat tinggi. Korosi menghabiskan material-material pada konstruksi termasuk material logam, sehingga mengurangi kekuatan dan umur konstruksi (Falakh, 2010). Salah satu cara menghambat terjadinya korosi adalah dengan proses pelapisan (*coating*).

Samimi (2012) berpendapat bahwa berbagai macam jenis *coating* untuk perlindungan sudah banyak ditemukan. Masing-masing memiliki keunggulan dan kerugiannya. Salah satu jenis *coating* yang tengah dikembangkan adalah *coating* dengan bahan *polyurethane*. Untuk mengetahui kekuatan dari *coating polyurethane*, diperlukan analisis lebih lanjut.

Dalam penelitian ini, dilakukan uji korosi terhadap jenis *coating polyurethane*. Selain uji korosi, dilakukan pula 3 pengujian lain yaitu uji adhesi, uji tahan panas, dan uji morfologi. Pengujian-pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari jenis *coating polyurethane*.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, didapatkan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana daya lekat dari *coating polyurethane*?
2. Bagaimana pengaruh suhu terhadap *coating polyurethane*?
3. Bagaimana pengaruh media korosi terhadap besaran laju korosi?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai adalah :

1. Mendapatkan harga kekuatan daya lekat dari *coating polyurethane*.
2. Menganalisis pengaruh suhu terhadap pelapisan *coating polyurethane* pada baja.
3. Menganalisis dampak variasi media korosi terhadap laju korosi

1.4. Manfaat

Dari hasil tugas akhir ini, diharapkan dapat memberikan informasi serta gambaran tentang penggunaan *polyurethane* sebagai bahan untuk *coating* pada pipa. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan pemahaman tentang pengaruh media korosi terhadap laju korosi.

1.5. Batasan Masalah

1. Menggunakan satu jenis baja, yaitu baja jenis ASTM A36.
2. Hanya mengaplikasikan satu jenis *coating* pada baja.
3. Menggunakan metode *spray* untuk pelapisan baja.
4. Lama waktu pengeringan *coating* diabaikan.
5. Menggunakan metode sel 3 elektroda untuk uji laju korosi.
6. Menggunakan media korosi berupa NaCl dan FeCl₃.
7. Menggunakan *stereo microscope* untuk uji morfologi.
8. Menggunakan suhu 50⁰C, 100⁰C, 150⁰C, dan 200⁰C untuk uji tahan panas.
9. Menggunakan metode *pull off test* untuk uji adhesi.

1.6. Hipotesis

Hipotesis yang dirumuskan dari penelitian ini yaitu :

1. *Coating Polyurethane* memiliki daya lekat yang cukup kuat.
2. *Polyurethane* mampu menahan panas.
3. Pada media korosi yang berbeda-beda, didapatkan hasil uji laju korosi yang berbeda pula.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam menunjang kegiatan produksi minyak dan gas, anjungan lepas pantai dan pipa bawah laut dibangun untuk mempermudah pekerjaan eksplorasi dan eksploitasi.

Pada saat beroperasi, anjungan lepas pantai dan pipa bawah laut bekerja pada daerah dengan kondisi lingkungan yang ekstrim, sehingga rentan sekali terkena korosi. Oleh karena itu, perlindungan terhadap korosi dirasa sangat perlu. Salah satu cara melindungi anjungan lepas pantai dan pipa bawah laut dari korosi adalah dengan *coating*. Dengan penanganan yang tepat, *coating* mampu melindungi dari korosi. Beberapa jenis bahan untuk pelapisan (*coating*) sudah ditemukan, salah satunya adalah *polyurethane*. *Polyurethane* merupakan jenis *coating* yang baru dikembangkan, karenanya diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kekuatannya.

Penelitian tentang penerapan *polyurethane* sebagai bahan untuk *coating* telah dilakukan sebelumnya. Seperti yang sudah dilakukan oleh Budiary (2011) tentang pengaruh rasio *polyol* dan *isocyanate* terhadap properti *coating polyurethane*.

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Baja

Baja merupakan perpaduan antara besi dan karbon. Selain itu, di dalam baja juga terdapat kandungan-kandungan lain seperti belerang dan fosfor yang merupakan pengotoran dari bijih besi. Kemudian terdapat pula silikon dan mangan yang merupakan unsur pada pembuatan besi atau baja. Untuk mendapatkan jenis baja yang beragam dan memiliki sifat tertentu, ditambahkan sejumlah unsur paduan (Zakharov, 1962).

2.2.1.1 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan jenis material baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang mudah diajdikan bahan fabrikasi atau konstruksi. Aplikasi dari baja jenis ini antara lain digunakan sebagai bahan konstruksi, plat dasar, perpipaan, dan struktur lainnya.

Baja ASTM A36 memiliki tegangan minimum yang diijinkan sebesar 36.000 psi (250 MPa). Sedangkan baja jenis ini memiliki nilai tegangan tarik maksimum sebesar 58.000-80.000 psi (400-550 MPa).

2.2.2 Polyurethane

Polyurethane, atau yang disebut juga polikarbamat, adalah polimer linear yang memiliki ikatan karbamat ($-\text{NHCO}_2$) pada ikatan molekulnya. Polimer ini dibentuk dari reaksi kimia antara *isocyanate* dan alkohol derajat tinggi atau yang biasa disebut *polyol*. *Isocyanate* merupakan molekul yang mengandung gugus radikal *isocyanate* (NCO) di dalamnya. *Polyurethane* dibuat dengan 2 tahapan yaitu pre-polymerisasi dan fase emulsi (Budiarfy, 2011).

Polyurethane merupakan jenis polimer yang serbaguna. Seiring perkembangannya, *polyurethane* telah digunakan sebagai bahan penyekat pada bangunan, pelapis permukaan (*coating*), elastomer, foam, dan perekat.

2.2.3 Korosi

Korosi merupakan proses degradasi mutu logam yang disebabkan oleh interaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya. Ada empat faktor yang mempengaruhi dan berperan dalam terjadinya korosi, yaitu :

- a. Anoda
- b. Katoda
- c. Larutan elektrolit
- d. Penghantar (hubungan listrik)

Korosi juga dapat diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada suatu bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan tersebut ditemukan dan diolah dari alam.

2.2.3.1 Jenis Korosi

Berdasarkan penyebabnya, korosi dibagi menjadi:

- a. Korosi Homogen, yaitu korosi yang dikategorikan menurut reaksi elektrokimia yang secara homogen terjadi karat pada seluruh bagian material yang terbuka. Korosi jenis ini umum terjadi pada konstruksi-konstruksi yang terbuat dari logam.



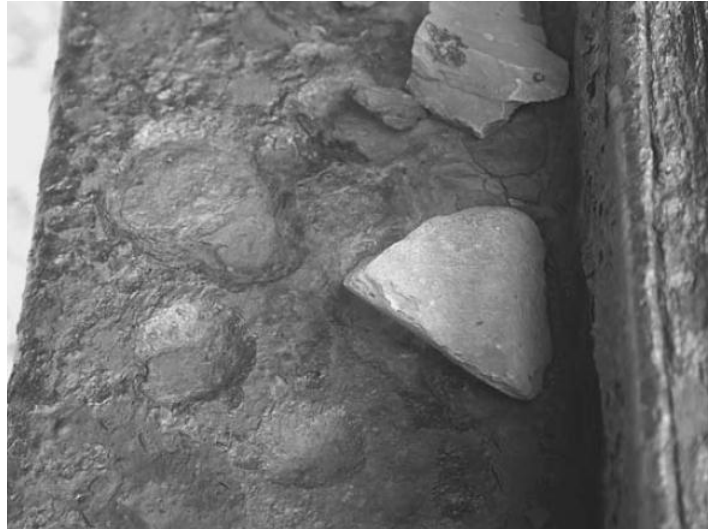
Gambar 2.1 Korosi Homogen (Roberge, 2008)

- b. Korosi Galvanik, yaitu korosi yang terjadi antara dua logam yang berbeda potensial dalam satu elektrolit. Logam yang memiliki tahanan (*resistance*) korosi kecil, atau logam anodik, akan terkorosi.



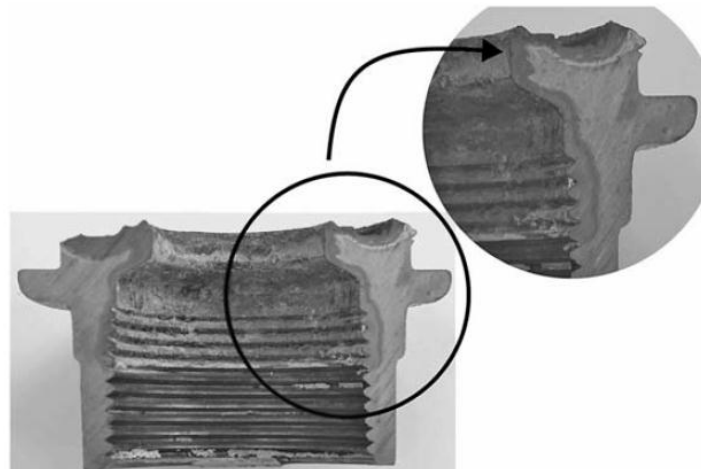
Gambar 2.2 Korosi Galvanik (Roberge, 2008)

- c. Korosi celah (*crevice corrosion*), yaitu korosi yang kerap kali terjadi pada celah maupun permukaan tertutup dari suatu logam yang terletak pada *corrosive media*. Korosi jenis ini biasanya terjadi pada skala kecil dari larutan yang terperangkap melalui lubang, gasket, *lap joint*, maupun baut.



Gambar 2.3 *Crevice Corrosion* (Roberge, 2008)

- d. *Selective Leaching*, yaitu peristiwa larutnya salah satu komponen dari suatu paduan yang mengakibatkan paduan yang tersisa akan menjadi berpori. Paduan yang berpori ini menyebabkan ketahanan korosi dari paduan tersebut berkurang.



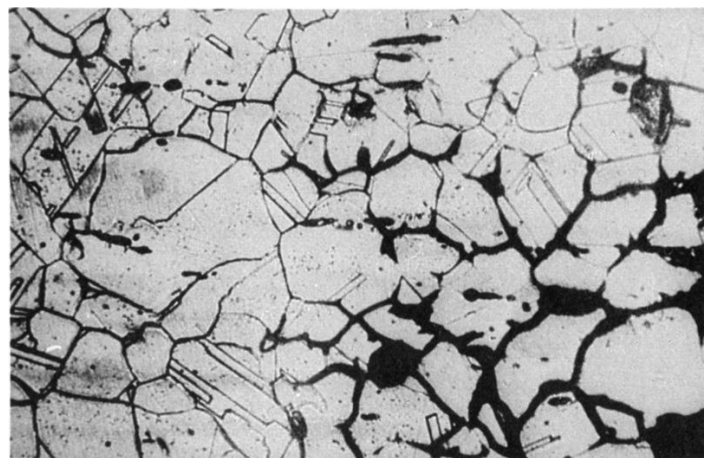
Gambar 2.4 *Selective Leaching* (Roberge, 2008)

- e. Korosi sumuran (*pitting corrosion*), yaitu korosi yang terjadi akibat adanya anoda pada logam yang terdapat konsentrasi ion CT dalam jumlah yang tinggi.



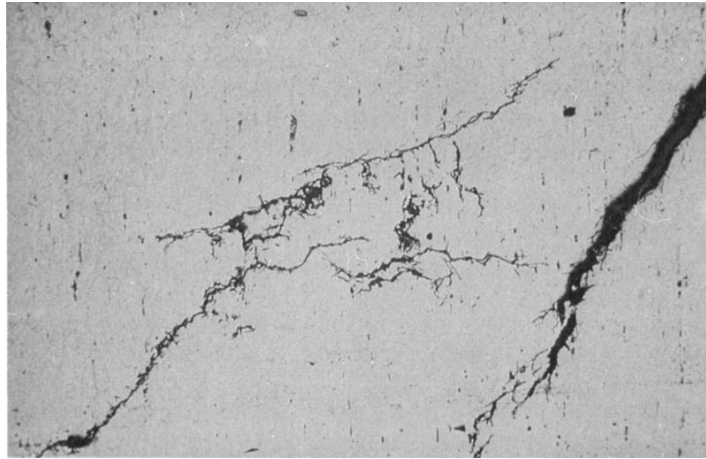
Gambar 2.5 *Pitting Corrosion* (Roberge, 2008)

- f. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*), yaitu korosi yang terjadi pada batas butir yang merupakan tempat terkumpulnya *impurity* atau presipitat dan lebih tegang.



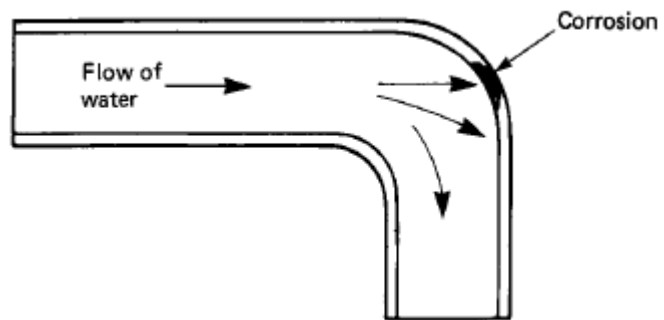
Gambar 2.6 *Intergranular Corrosion* (Chandler, 1985)

- g. Korosi Tegangan (*stress corrosion*), yaitu korosi korosi yang disebabkan oleh retakan akibat dari tegangan tarik dan media korosif secara bersamaan.

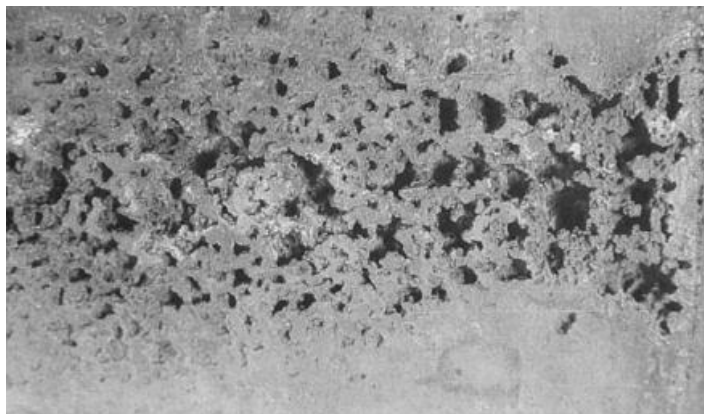


Gambar 2.7 *Stress Corrosion* (Chandler, 1985)

- h. Korosi Erosi (*erosion corrosion*), yaitu korosi yang terjadi akibat dari gerakan relatif antara fluida korosif dan permukaan metal.

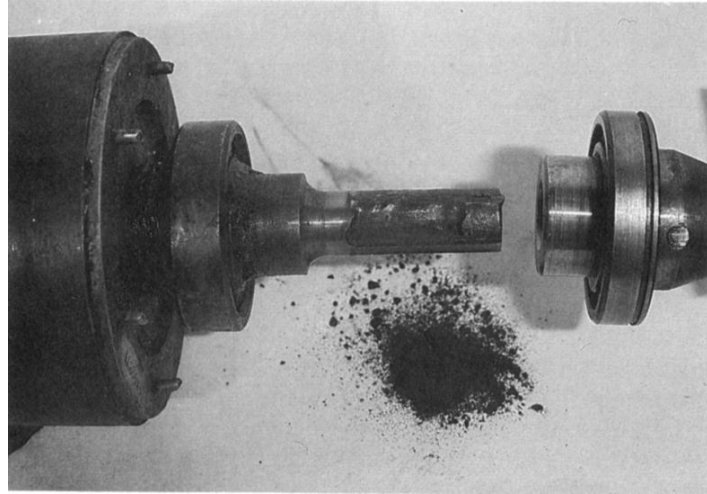


Gambar 2.8 Mekanisme Terjadinya Korosi Erosi (Chandler, 1985)



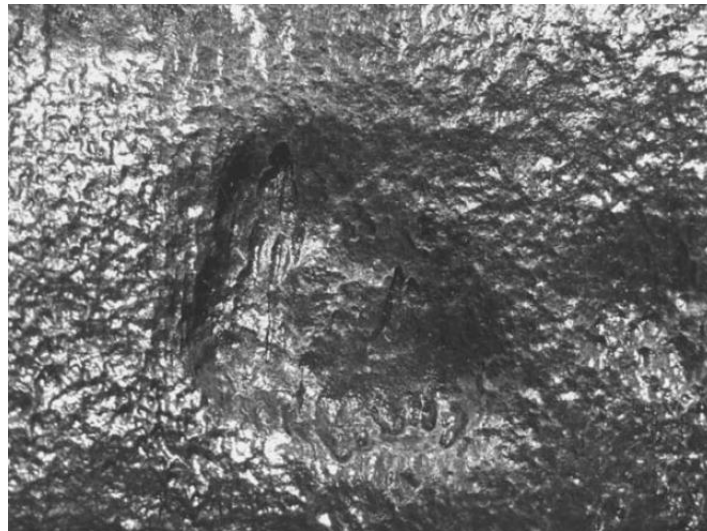
Gambar 2.9 *Erosion Corrosion* (Chandler, 1985)

- i. Korosi *Fretting*, yaitu korosi yang terjadi pada permukaan dari dua permukaan yang dipasangkan secara berdekatan dan dikenai gerakan yang relatif.



Gambar 2.10 *Fretting Corrosion* (Chandler, 1985)

- j. Korosi Biologi, yaitu korosi yang disebabkan oleh aktivitas organisme baik itu mikroorganisme maupun makroorganisme, yang terjadi secara langsung ataupun tidak langsung.



Gambar 2.11 Korosi Biologi (Roberge, 2008)

2.2.4 Laju Korosi

Laju korosi adalah peristiwa merambatnya korosi yang terjadi pada sebuah material. Laju korosi terjadi ketika tebal material mulai menghilang setiap satuan waktu. Satuan laju korosi ada bermacam-macam seperti mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, British). Untuk menentukan laju korosi, ada beberapa metode yang bisa digunakan, yaitu metode kehilangan

berat, mengukur dimensi, dan mengukur densitas arus korosi. Dalam menghitung laju korosi, kita menggunakan rumus Faraday yaitu sebagai berikut :

$$CPR = K \frac{a.i}{n.D} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

CPR : Laju korosi (mm/th)

K : Konstanta (0,129 untuk mpy; 0,00327 untuk mmpy)

a : Berat atom yang terkorosi (gram)

i : Kerapatan arus ($\mu A/cm^2$)

n : Jumlah elektron valensi logam terkorosi

D : Densitas logam terkorosi ($gram/cm^3$)

Laju korosi berkaitan erat dengan nilai teknis dan ekonomis dari sebuah material.

2.2.5 Coating (Pelapisan)

Coating, atau pelapisan, adalah salah satu upaya yang umum digunakan untuk mencegah dan mengendalikan terjadinya korosi pada suatu material. Pelapisan adalah proses elektrokimia yang tidak terjadi di alam. Dengan melakukan pelapisan secara sederhana, kita mampu membatasi logam dari pengaruh lingkungan yang korosif. Selain untuk mencegah korosi, pelapisan juga mampu menambah kestabilan dari pipa.

Ada dua jenis pelapisan (*coating*), yaitu:

- a. *Liquid coating*, yaitu pelapisan yang menggunakan cairan. Bisa berupa *painting* (cat).
- b. *Concrete coating*, yaitu pelapisan yang menggunakan beton.

Dalam prakteknya, ada beberapa permasalahan yang muncul pada proses pelapisan. Hal ini dapat terjadi karena kurangnya perhatian pada pelapisan karena anggapan bahwa proses pelapisan dianggap sederhana. Oleh karena itu, terkadang terdapat cacat pada hasil *coating* atau pelapisan.

2.2.5.1 Mekanisme Cat Melawan Korosi

Cat sudah lama dikenal sebagai bahan yang mampu melindungi (protektif) dan memberikan sentuhan keindahan (dekoratif). Cat termasuk ke dalam *coating* (pelapis) jenis *liquid*. Bahan utama pembuatan cat terdiri dari 3 jenis, yaitu:

- a. *Pigment*, yaitu bahan pada cat yang memiliki dua fungsi. Pada cat dasar (*primer coat*), *pigment* berfungsi menghambat terjadinya korosi pada logam yang dilapisi. Cara kerjanya, *pigment* tidak bereaksi dengan lingkungan sekitar dan membentuk senyawa yang beroksidasi dengan logam dan membentuk sebuah lapisan pasif. Pada cat akhir (*top coat*), *pigment* berfungsi sebagai bahan perupa (*decorative*).
- b. *Binder*, yaitu bahan cair pada cat yang mempunyai peranan penting dalam formulasi cat. *Binder* merupakan bahan polimer yang berfungsi untuk memberikan karakteristik lapisan cat. Jadi, jenis suatu cat ditentukan oleh jenis *bindernya*.
- c. *Solvent*, yaitu bahan pelarut bagi cat yang berfungsi untuk mengatur viskositas, melarutkan polimer, dan memperbaiki sifat-sifat cair.

Ketiga bahan tersebut kemudian diformulasikan untuk memperoleh bahan cair yang protektif.

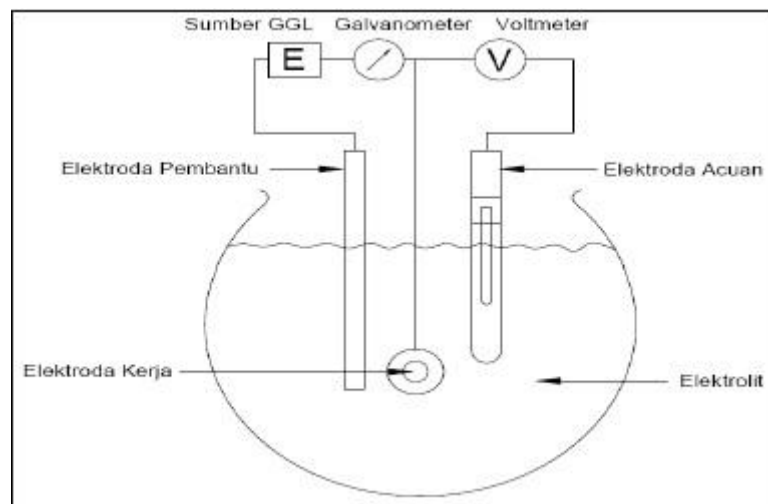
Selain ketiga bahan di atas, terdapat pula penambahan beberapa bahan lain guna memberikan kemudahan bagi produk untuk diaplikasikan, tahan terhadap lingkungan, dan yang paling penting harganya terjangkau. Bahan tambahan tersebut antara lain:

- a. *Extender*, yaitu bahan tambahan pada cat yang berfungsi memperbaiki sifat-sifat cat dan mengurangi harga cat. Cara kerja *extender* yaitu membantu kerja dari *pigment*. Biasanya *extender* berbentuk padat seperti senyawa CaCO_3 , *talc*, *China lay*, *barite*, dan lain-lain.
- b. *Additive*, yaitu bahan tambahan pada cat yang berfungsi mencegah pengendapan *pigment* (*anti settling agent*), mencegah terbentuknya kulit (*anti skinning*), mencegah terjadinya pemisah warna (*anti floating agent*), mencegah terjadinya keriput pada lapisan cat (*anti saging agent*) dan lain-lain.

2.2.6 Sel 3 Elektroda

Sel tiga elektroda adalah perangkat laboratorium untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat korosi bahan yang terdiri dari konfigurasi beberapa komponen. Komponen sel tiga elektroda terdiri dari:

- Elektroda kerja (*working electrode*), berfungsi sebagai benda uji coba (anoda) yang dicelupkan pada fluida kerja. Ini sebutan yang diberikan untuk elektroda yang diteliti.
- Elektroda bantu (*auxiliary electrode*), berfungsi memberikan potensial pada elektroda kerja, serta mengangkut arus listrik yang timbul akibat reaksi korosi.
- Elektroda acuan, berfungsi sebagai elektroda pembanding untuk acuan potensial yang diberikan kepada elektroda kerja serta potensial yang diberikan pada elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan.



Gambar 2.12 Sel 3 Elektroda (Trethewey, 1991)

2.2.7 Pull Off Adhesion Tester

Pull Off Adhesion Tester merupakan perangkat yang digunakan untuk penelitian kuantitatif terhadap daya lekat dari sebuah *coating*. *Pull Off Adhesion Tester* bekerja dengan cara mengukur besarnya gaya yang dibutuhkan untuk menarik *coating* dari material yang dilindunginya. Gaya inilah yang akan menunjukkan kekuatan adhesi dari *coating* tersebut.

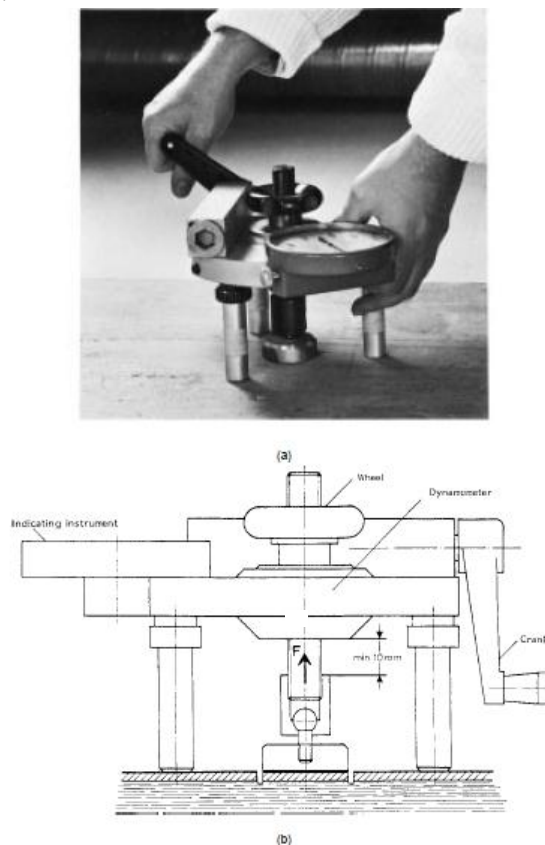
Pull Off Adhesion Tester memiliki tiga komponen utama yaitu *actuator*, sumber tekanan, dan pengukur tekanan. Ketika beroperasi, sebuah alat dengan permukaan datar atau *dolly* ditempelkan pada spesimen yang

akan diuji. Setelah itu, *actuator* disambungkan ke *dolly*. Dengan mengaktifkan sumber tekanan, maka tekanan lambat laun akan diberikan pada sistem *actuator*. Ketika gaya tekanan yang diberikan semakin besar, lama kelamaan *coating* akan kehilangan daya lekatnya dan terkelupas dari spesimen. Besarnya gaya maksimum yang tercatat pada pengukur tekanan menunjukkan tekanan ketika proses pengelupasan terjadi.

Ada 5 jenis *Pull Off Adhesion Tester* yang masing-masing memiliki kekuatan yang berbeda. Jenis-jenis *Pull Off Adhesion Tester* tersebut antara lain :

a. *Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type I*

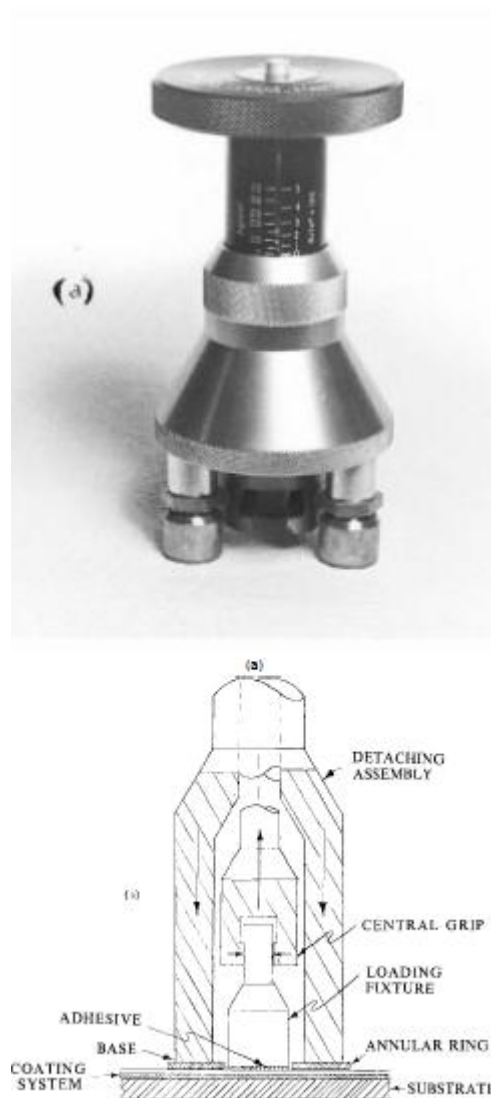
Alat pengujian adhesi tipe ini bekerja dengan cara memutar tuas yang terletak di samping untuk mencabut *coating* dengan area berdiameter 50 mm. *Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type I* memiliki kekuatan tekanan sebesar 5, 15, 25, dan 50 kN.



Gambar 2.13 (a) *Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type I*
(b) Gambar Penampang *Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type I* (ASTM D 4541, 2002)

b. *Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type II*

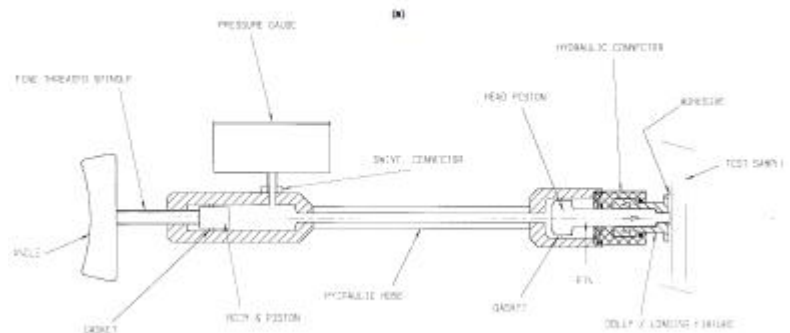
Alat pengujian adhesi tipe ini bekerja dengan cara memutar tuas yang terletak di atas untuk mencabut *coating* dengan area berdiameter 20 mm. *Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type II* memiliki kekuatan tekanan sebesar 3.5, 7.0, 14, dan 28 MPa.



Gambar 2.14 (a) *Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type II*
(b) Gambar Penampang *Fixed-Alignment Adhesion Tester, Type II* (ASTM D 4541, 2002)

c. *Self-Aligning Adhesion Tester Type III*

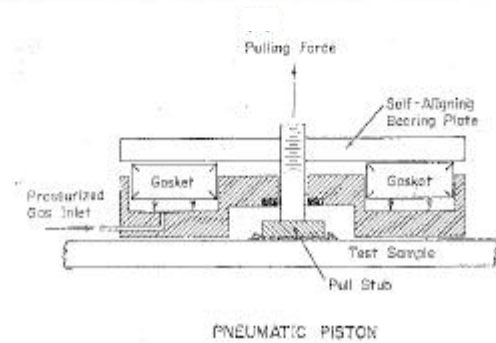
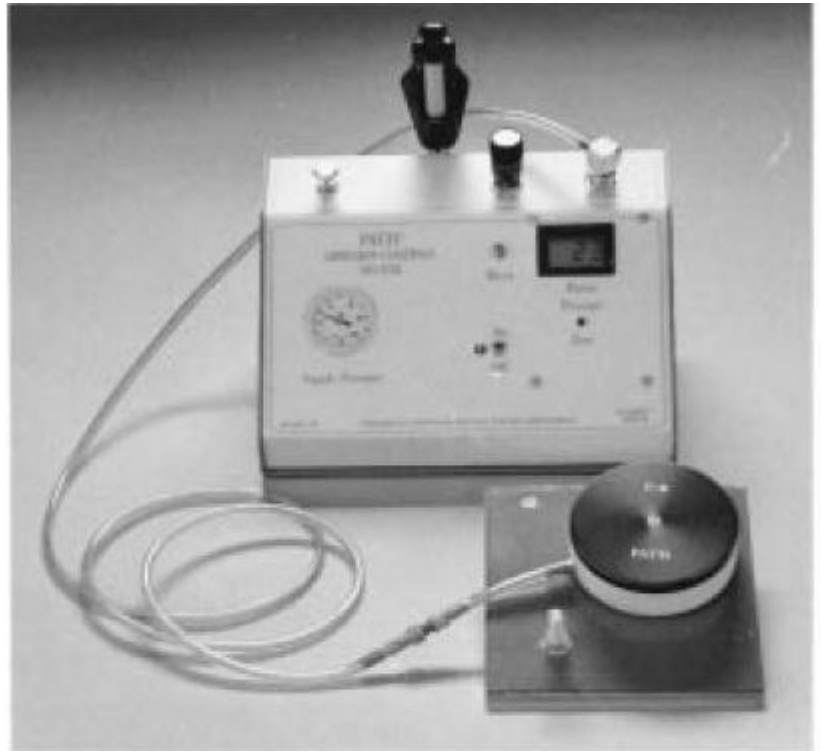
Alat pengujian adhesi tipe ini bekerja dengan cara memberikan tekanan secara perlahan dengan cara memutar tuas yang terletak di atas untuk mencabut *dolly* yang memiliki diameter luar sebesar 19 mm dan diameter dalam sebesar 3 mm. *Self-Aligning Adhesion Tester Type III* memiliki kekuatan tekanan sebesar 0 sampai 10 MPa, 0 sampai 15 MPa, dan 0 sampai 20 Mpa



Gambar 2.15 (a) *Self-Aligning Adhesion Tester Type II*
(b) Gambar Penampang *Self-Aligning Adhesion Tester Type III* (ASTM D 4541, 2002)

d. *Self-Alignment Adhesion Tester Type IV*

Alat pengujian adhesi tipe ini bekerja dengan menggunakan gas yang dikendalikan oleh alat. Alat ini digunakan untuk mencabut *coating* dengan area berdiameter 12,5 mm. *Self-Alignment Adhesion Tester Type IV* memiliki kekuatan tekanan sebesar 3.5 MPa sampai 70 MPa.



Gambar 2.16 (a) *Self-Alignment Adhesion Tester Type IV*
(b) Gambar Penampang *Self-Alignment Adhesion Tester Type IV* (ASTM D 4541, 2002)

e. *Self-Aligning Adhesion Tester Type V*

Alat pengujian adhesi tipe ini bekerja dengan cara memompa tuas pada alat untuk mencabut *dolly* dengan diameter 20 mm sampai dengan 50 mm. *Self-Aligning Adhesion Tester Type V* memiliki kekuatan tekanan sebesar 0 sampai 7 MPa untuk *dolly* dengan diameter 20 mm dan 0 sampai 21 MPa untuk *dolly* dengan diameter 50 mm.



Gambar 2.17 (a) *Self-Aligning Adhesion Tester Type V*
(b) Gambar Penampang *Self-Aligning Adhesion Tester Type V* (ASTM D 4541, 2002)

2.2.8 *Stereo Microscope*

Stereo microscope adalah mikroskop optik untuk mengamati sampel. Mikroskop jenis ini menggunakan sumber cahaya yang berasal dari meja preparat, bukan dari cahaya yang dipantulkan ke dalam mikroskop. *Stereo microscope* menghasilkan gambaran dari sampel yang lebih jelas jika dibandingkan dengan mikroskop konvensional.

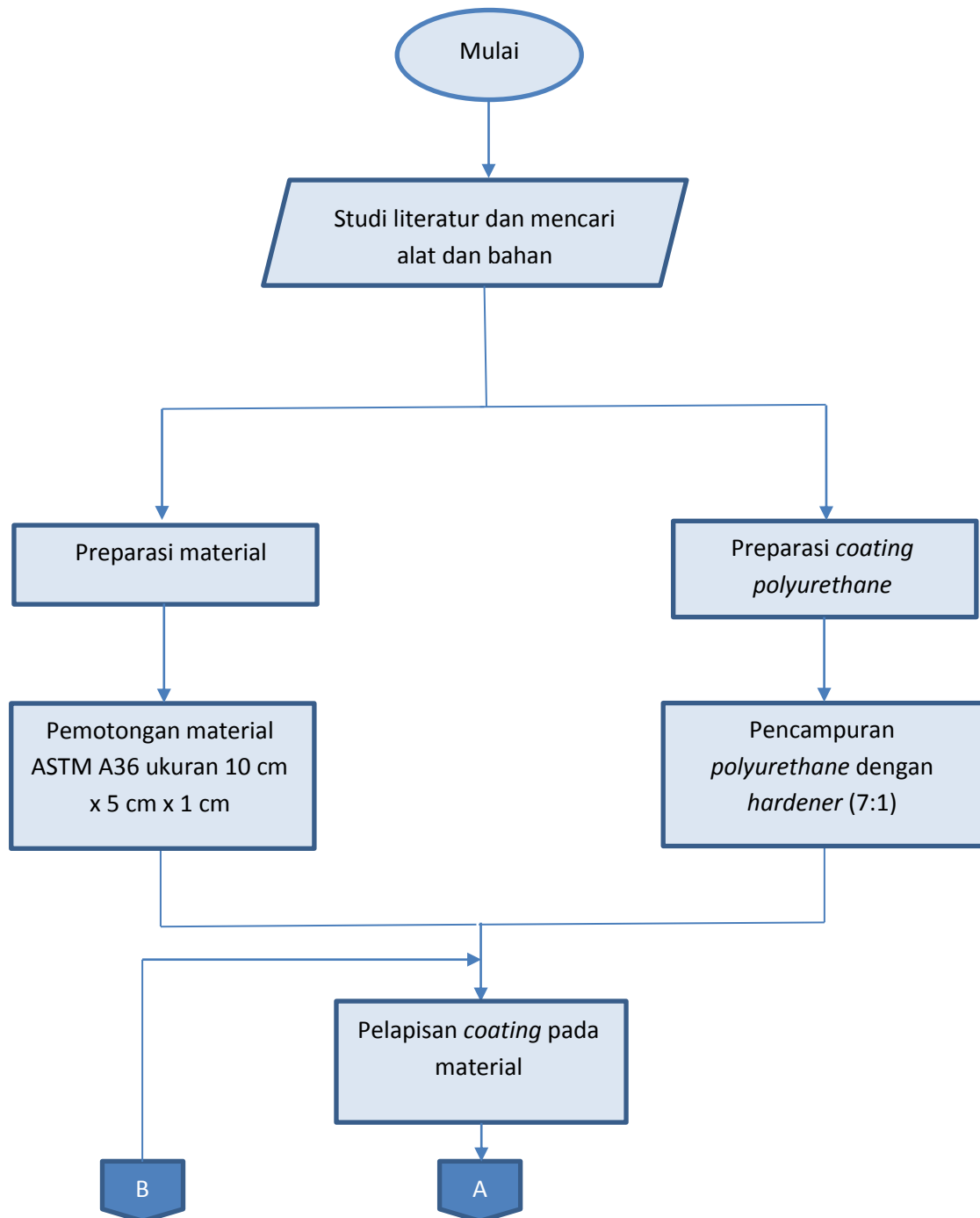


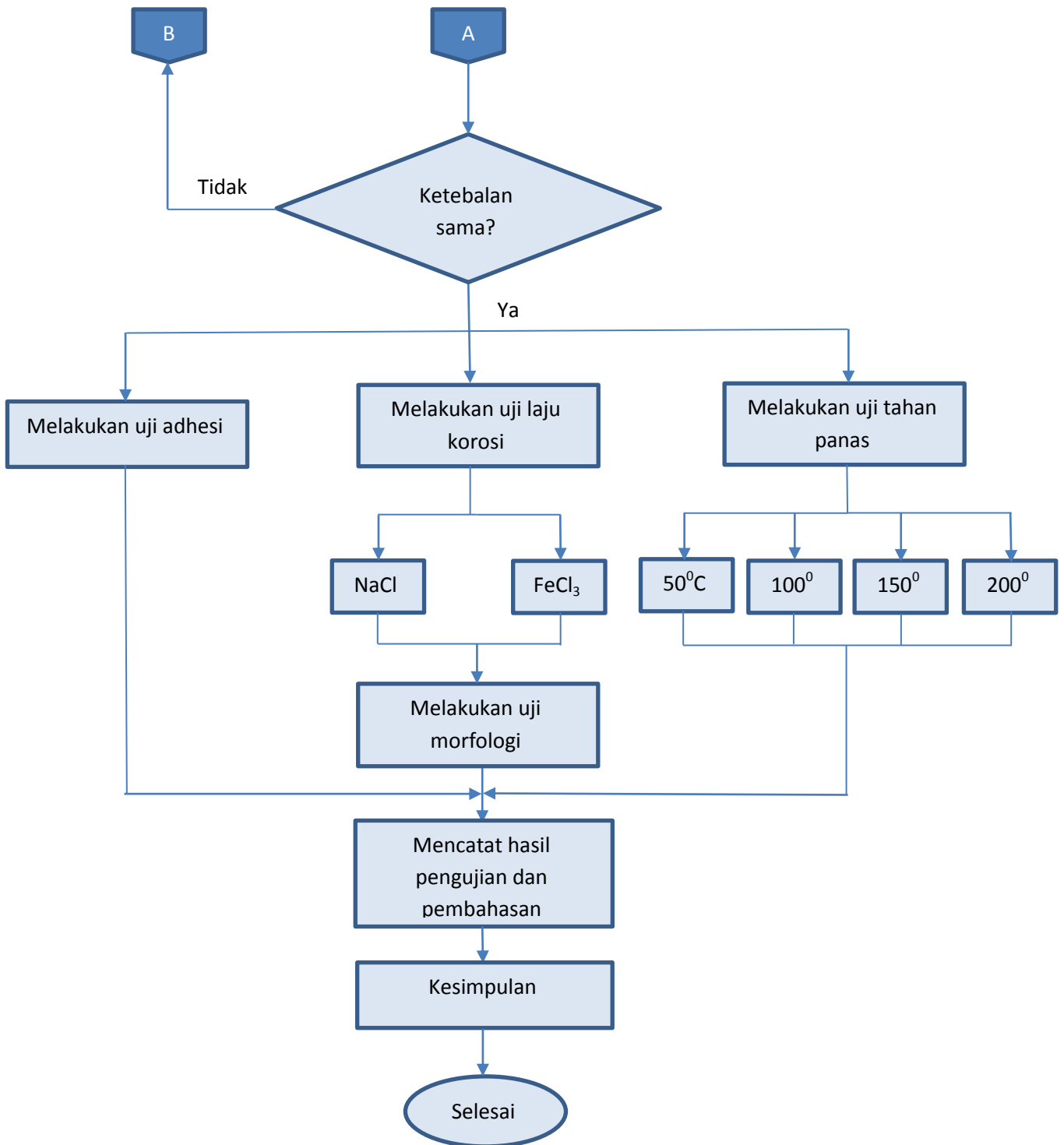
Gambar 2.18 *Stereo Microscope* (Olympus, 2006)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

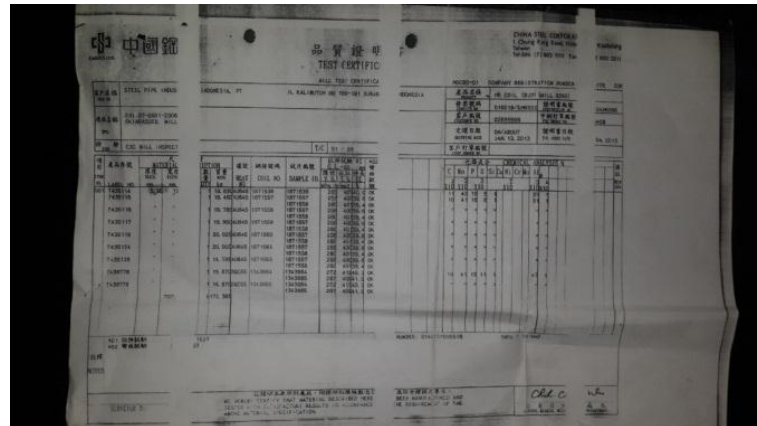




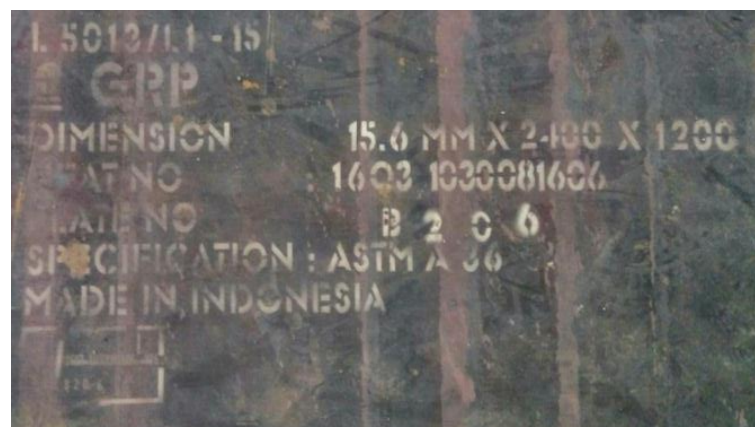
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Preparasi Material

Material yang digunakan untuk penelitian adalah baja ASTM A36. Dalam pembelian material, dilampirkan pula sertifikat materialnya. Selain itu, pada material terdapat keterangan jenis bajanya.



Gambar 3.2 Sertifikat Pengujian Baja ASTM A36



Gambar 3.3 Material Baja ASTM A36

Material baja ASTM A36 dipotong dengan ukuran 10 cm x 5 cm x 1 cm. Baja dipotong sebanyak 12 spesimen. Setelah dipotong, pada masing-masing spesimen diberi 1 buah lubang pada bagian atas dengan diameter 5 mm.

Setelah baja dipotong, kemudian dilakukan proses gerinda pada material. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan karat yang menempel pada material. Selain itu, proses gerinda juga dilakukan agar permukaan material menjadi halus, sehingga *coating* dapat menempel pada baja nantinya.

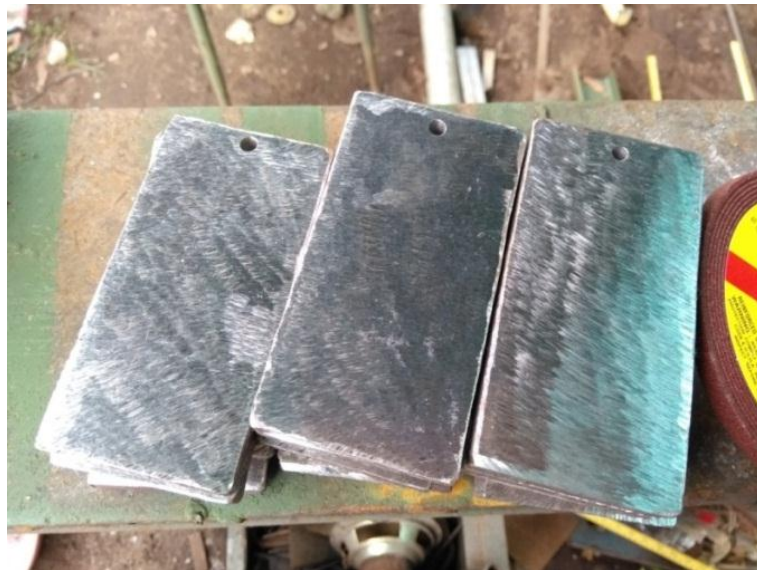
Proses gerinda dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap spesimen. Amplas gerinda yang digunakan masing-masing memiliki *grid* 24, 120, dan 240.



Gambar 3.4 Amplas Gerinda *grid* 24



Gambar 3.5 Amplas Gerinda *grid* 120



Gambar 3.6 Spesimen yang telah Digerinda

Setelah dilakukan proses gerinda pada material, material masuk ke dalam tahap *blasting*. *Blasting* dilakukan dengan bahan berupa *powder*. Proses *blasting* dilakukan di dalam sebuah *chamber*.



Gambar 3.7 Spesimen yang telah Diproses *Blasting*

3.3 Preparasi *Coating Polyurethane*

Untuk membuat *polyurethane* yang siap digunakan sebagai pelapis atau *coating*, dicampurkan *polyurethane* dengan *hardener* atau pengeras. Perbandingan *polyurethane* dengan *hardener* adalah 7:1.



Gambar 3.8 *Polyurethane*



Gambar 3.9 *Hardener*

3.4 Pelapisan *Coating* pada Material

Sebelum melapisi material dengan *coating*, perlu diketahui terlebih dahulu keadaan dari lingkungan dan material pada hari di mana material akan dilapisi. Parameter yang perlu diketahui antara lain kelembaban udara, suhu permukaan material, dan tingkat kekerasan material.

Pertama, kelembaban dari lokasi pelapisan spesimen diukur. Pengukuran dilakukan dengan alat pengukur kelembaban udara seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.10. Dari hasil pengukuran, didapatkan nilai *Dew Point* (DP) dan RH.



Gambar 3.10 Alat Pengukur Kelembaban Udara

Selanjutnya, dilakukan pengukuran suhu dari permukaan spesimen yang akan dilapisi *coating*. Pengukuran suhu permukaan dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan *coating* untuk kering. Pengukuran dilakukan

menggunakan alat pengukur suhu permukaan spesimen seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.11 di bawah ini.



Gambar 3.11 Alat Pengukur Suhu Permukaan Spesimen

Kemudian, parameter terakhir yang perlu diketahui adalah tingkat kekerasan (roughness) dari permukaan spesimen. Pengukuran dilakukan dengan alat yang dinamakan *elcometer* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.21..

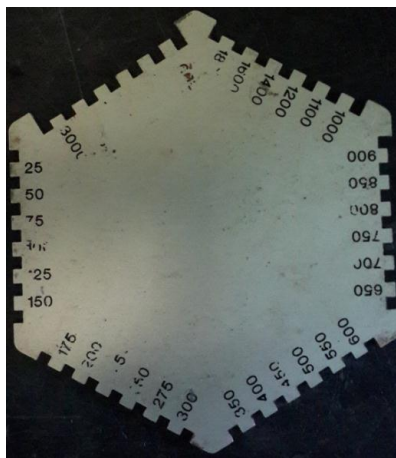


Gambar 3.12 *Elcometer*

Setelah dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter di atas, barulah dapat dilakukan pelapisan *coating polyurethane* pada spesimen. Pada penelitian ini, pelapisan spesimen dilakukan dengan metode *spray*. Ketebalan *coating* yang

digunakan sebesar 75 *micron* dengan ketebalan basah sebesar 125 *micron* sesuai dengan *Product Data Sheet* (PDS) yang telah dikeluarkan oleh produsen *coating*.

Langkah-langkah proses *spray coating* pada spesimen yaitu material *coating* yang telah dicampurkan sebelumnya dimasukkan ke dalam alat semprot. Kemudian, dilakukan proses *spray* hingga didapatkan ketebalan basah *coating* yang diinginkan yaitu sebesar 125 *micron*. Ketebalan diukur dengan alat pengukur ketebalan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.13. Setelah seluruh spesimen dilapisi, selanjutnya spesimen dibiarkan selama 6 jam sampai *coating* kering dan mencapai ketebalan 75 *micron*.



Gambar 3.13 Alat Pengukur Ketebalan *Coating*



Gambar 3.14 Proses Penyemprotan *Coating*



Gambar 3.15 Spesimen yang Telah Dilapisi *Coating*

3.5 Melakukan Uji Adhesi

Setelah *coating* benar-benar kering dan menempel pada spesimen, selanjutnya dilakukan pengujian-pengujian. Pengujian yang pertama dilakukan adalah Uji Adhesi atau Daya Lekat dari *coating*. Pengujian dilakukan dengan Metode *Pull-Off Test* menggunakan *Self-Aligning Adhesion Tester Type V* berdasarkan ASTM D4541 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.16 di bawah ini.



Gambar 3.16 *Self-Aligning Adhesion Tester Type V*

Langkah pertama yang dilakukan dalam pengujian adhesi adalah mempersiapkan alat yang dibutuhkan di antaranya spesimen sebanyak 2 buah, *dolly* sebanyak 4 buah, perekat adhesif *Araldite*, dan *Self-Aligning Adhesion Tester Type V*. Kemudian, dicampurkan perekat adhesif *araldite* dengan perbandingan 1 : 1.



Gambar 3.17 Perekat Adhesif *Araldite*



Gambar 3.18 *Dolly*

Setelah dilakukan pencampuran, selanjutnya *dolly* ditempelkan pada spesimen dengan menggunakan perekat adhesif *araldite*. Untuk masing-masing spesimen, ditempelkan 2 buah *dolly*. Kemudian, spesimen yang sudah ditemplei *dolly* dibiarkan selama 1 hari agar perekat adhesif kering sehingga dapat dilakukan pengujian.



Gambar 3.19 Spesimen yang Telah Ditemplei *Dolly*

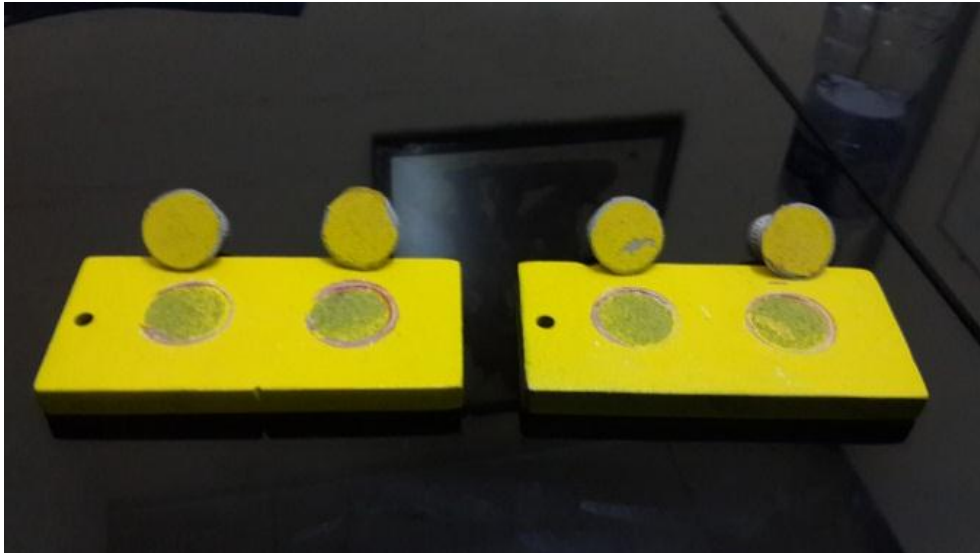
Sebelum dilakukan pengujian, sisa-sisa lem yang masih menempel di luar bagian *dolly* dikelupas dan dibersihkan terlebih dahulu. Lalu spesimen diletakkan pada permukaan yang datar. Kemudian, *dolly* dimasukkan ke dalam alat penghisap. Sebelum menggunakan *adhesive tester*, pastikan ukurannya dimulai dari nol. Untuk memulai pengujian, pompa *adhesive tester* hingga menyedot *dolly* yang menempel pada spesimen. Lakukan pemompaan sampai *dolly* terlepas dari spesimen dan mengelupas *coating*. *Adhesive tester* akan menampilkan besarnya gaya yang diberikan hingga *dolly* tercabut dari spesimen. Kemudian, catat hasilnya.



Gambar 3.20 Persiapan Pengujian *Pull-Off*



Gambar 3.21 Proses Pemompaan Alat *Adhesive Tester*



Gambar 3.22 Spesimen yang Telah Diuji Adhesi

3.6 Melakukan Uji Ketahanan Panas

Pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah pengujian ketahanan *coating* terhadap panas. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh panas terhadap *coating polyurethane*. Pada pengujian ini, digunakan alat pemanas atau alat *furnace*.







Gambar 3.23 Alat *Furnace*

Langkah-langkah dalam melakukan pengujian ini adalah terlebih dahulu mempersiapkan material yang akan diuji. Selain itu, alat *furnace* yang akan digunakan juga dipersiapkan. Kemudian, material dimasukkan ke dalam alat *furnace* dan selanjutnya dipanaskan hingga mencapai suhu 50°C dan kemudian ditahan selama satu jam. Setelah satu jam, material dikeluarkan dari dalam alat *furnace* untuk kemudian didokumentasikan dan diamati. Material yang sudah diamati dimasukkan

kembali ke dalam alat *furnace*. Pengujian dilanjutkan untuk suhu masing-masing 100⁰C, 150⁰C, dan 200⁰C.

Tabel 3.1 Suhu yang Digunakan untuk Pengujian Ketahanan Panas

Nomor	Suhu	Indikator Suhu pada Alat <i>Furnace</i>
1	50 ⁰ C	
2	100 ⁰ C	
3	150 ⁰ C	
4	200 ⁰ C	



3.7 Melakukan Uji Laju Korosi

Setelah melakukan pengujian ketahanan panas, selanjutnya dilakukan pengujian laju korosi terhadap material baja yang dilapisi oleh *coating*. Pengujian ini dilakukan untuk memprediksi korosi yang terjadi pada baja yang telah dilapisi oleh *coating polyurethane* pada media korosi yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan dengan

metode sel 3 elektroda dengan bantuan *software Nova* untuk mendapatkan harga laju korosinya.



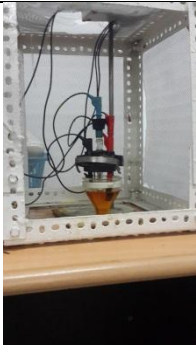
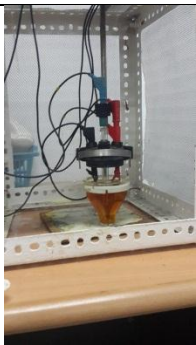
Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah membuat larutan yang akan digunakan sebagai media korosi. Pada penelitian ini, digunakan dua jenis larutan yaitu NaCl 3,5 % dan FeCl₃ 5 %. Larutan dibuat dengan cara memasukkan 3,5 gr NaCl dan 5 gr FeCl₃ ke dalam aquades sebanyak 100 ml pada wadah yang berbeda.

Tabel 3.2 Larutan yang Digunakan sebagai Media Korosi.

Nomor	Nama Larutan	Larutan Hasil Pencampuran
1	NaCl 3,5 %	
2	FeCl ₃ 5 %	

Setelah membuat larutan yang akan digunakan untuk media korosi, selanjutnya dipersiapkan alat pengujian laju korosinya. Pada pengujian sel 3 elektroda ini, digunakan elektroda bantu berupa Platina serta elektroda acuan berupa Ag/AgCl. Untuk voltase yang digunakan adalah sebesar 0,1 v dengan *scan rate* sebesar 0,001 v/s sesuai dengan standar yang sudah dikalibrasi di Laboratorium. Kemudian untuk membantu dalam perhitungan korosinya digunakan *software Nova* yang dihubungkan pada alat pengujian.

Tabel 3.3 Penyusunan Spesimen pada Alat Uji Laju Korosi

Larutan	Penyusunan Spesimen pada Alat		Keterangan
NaCl			Tanpa <i>Coating</i>
			Dengan <i>Coating</i>
FeCl ₃			Tanpa <i>Coating</i>
			Dengan <i>Coating</i>




BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Adhesi *Pull-Off Test*

Dari hasil pengujian adhesi *pull-off test* terhadap 2 buah spesimen uji yang masing-masing ditemplei 2 buah *dolly*, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Pull-Off Test*

Nama Spesimen	Hasil <i>Pull-Off Test</i>	Keterangan
Spesimen A		Titik 1
		Titik 2
Spesimen B		Titik 1

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Pull-Off Test*

		Titik 2
--	--	---------

Dari hasil pengamatan gambar di atas, dapat dilihat bahwa pada 3 buah titik pengujian, hampir seluruh permukaan *coating* yang menempel pada *dolly* terangkat dari spesimen baja. Ketiga titik tersebut adalah Spesimen A titik 1, Spesimen A titik 2, dan Spesimen B titik 2. Namun pada satu titik pengujian yaitu pada Spesimen B titik 1, terdapat *coating* yang masih menempel pada spesimen. Hal ini tentu akan mempengaruhi nilai adhesi dari *coating*.

Tabel 4.2 *Pull-Off Test* Spesimen A

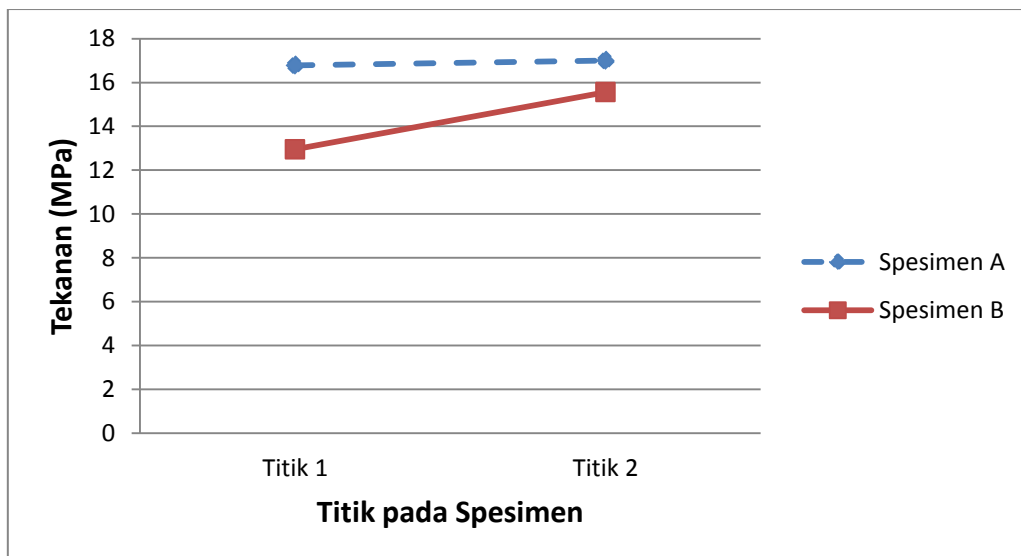
SPESIMEN A	
Titik 1	Titik 2
16,78 MPa	17,00 MPa

Dari hasil pengujian adhesi *pull-off test* yang dilakukan pada dua sampel titik yang terdapat pada spesimen A, didapatkan hasil tekanan yang dibutuhkan untuk mencabut *dolly* pada titik 1 yaitu sebesar 16,78 MPa. Sedangkan, tekanan yang dibutuhkan untuk mencabut *dolly* pada titik 2 yaitu sebesar 17,00 MPa.

Tabel 4.3 *Pull-Off Test* Spesimen B

SPESIMEN B	
Titik 1	Titik 2
12,95 MPa	15,56 MPa

Dari hasil pengujian adhesi *pull-off test* yang dilakukan pada dua sampel titik yang terdapat pada spesimen B, didapatkan hasil tekanan yang dibutuhkan untuk mencabut *dolly* pada titik 1 yaitu sebesar 12,95 MPa. Sedangkan, tekanan yang dibutuhkan untuk mencabut *dolly* pada titik 2 yaitu sebesar 15,56 MPa.



Grafik 4.1 Hasil Pengujian Adhesi *Pull-Off Test* pada Spesimen

Dari grafik 4.1, dapat dilihat perbandingan hasil nilai tekanan pada pengujian adhesi *pull-off test* antara spesimen 1 dan juga spesimen 2, baik pada titik 1 maupun pada titik 2. Dilihat dari grafik, dapat diketahui bahwa nilai adhesi pada hasil pengujian berada di kisaran 12 MPa sampai dengan 18 MPa.

Dalam penggunaannya, *coating* jenis *polyurethane* pada umumnya digunakan sebagai lapisan akhir atau penutup (*finishing coat*). Oleh karena itu, *coating* jenis ini dituntut untuk memiliki kekuatan daya lekat yang tinggi agar selama operasi *polyurethane* tidak mudah terkelupas dan rusak. Sehingga, *polyurethane* dapat

melindungi lapisan antikorosi yang berada di bawahnya. Menurut Samimi (2012), *polyurethane* memiliki daya adhesi yang kuat pada permukaan logam. Dalam industri, umumnya daya lekat *coating* yang dibutuhkan untuk lapisan akhir atau penutup (*finishing coat*) adalah sebesar 14 MPa.


Pada pengujian adhesi yang telah dilakukan, didapatkan hasil 3 buah titik pengujian yang telah memenuhi syarat lapisan akhir atau penutup (*finishing coat*). Ketiga titik tersebut adalah Spesimen A Titik 1 sebesar 16,78 Mpa, Spesimen A Titik 2 Sebesar 17,00, dan Spesimen B Titik 2 sebesar 15,56 MPa. Sedangkan pada satu titik yaitu Spesimen B Titik 1 masih belum memenuhi syarat, di mana kekuatan daya lekat pada titik tersebut adalah 12,95 MPa.

Untuk mendapatkan daya lekat *coating* yang baik, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam pelapisan sebuah material. Faktor-faktor tersebut contohnya adalah tingkat kekeringan *coating*, *surface preparation*, serta keberadaan *dust particle* pada permukaan material. Dalam kasus daya lekat pada Spesimen B Titik 1 yang memiliki nilai di bawah standar untuk *finishing coat* di industri, salah satu faktor yang tersebut di atas bisa jadi penyebabnya.




4.2 Pengujian Ketahanan Panas

Dari hasil pengujian ketahanan spesimen uji terhadap panas yang dilakukan pada suhu masing-masing 50⁰C, 100⁰C, 150⁰C, dan 200⁰C, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Ketahanan Panas Spesimen

Nomor	Suhu	Permukaan Spesimen	Keterangan
1	50 ⁰ C		Tidak terjadi perubahan

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Ketahanan Panas Spesimen

2	100 ⁰ C		Tidak terjadi perubahan
3	150 ⁰ C		Terjadi sedikit pemudaran warna
4	200 ⁰ C		Warna lebih pudar

Dari tabel 4.4, dapat diketahui bahwa pada spesimen yang dipanaskan di suhu 50⁰C dan 100⁰C, belum nampak perubahan yang terjadi pada *coating*. Namun setelah spesimen dipanaskan pada suhu 150⁰C dan 200⁰C, terjadi sedikit pemudaran pada warna *coating* yang menempel pada spesimen.

Berdasarkan *Product Data Sheet* dari *coating*, dijelaskan bahwa apabila *coating* beroperasi pada suhu di atas 100⁰C akan terjadi pemudaran warna pada *coating*. Pada penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa pada suhu di atas 100⁰C yaitu pada suhu 150⁰C dan 200⁰C terlihat warna pada *coating* mulai sedikit memudar. Namun, pemudaran ini tidak menyebabkan lapisan *coating* sampai mengelupas dari material spesimen.

4.3 Pengujian Laju Korosi

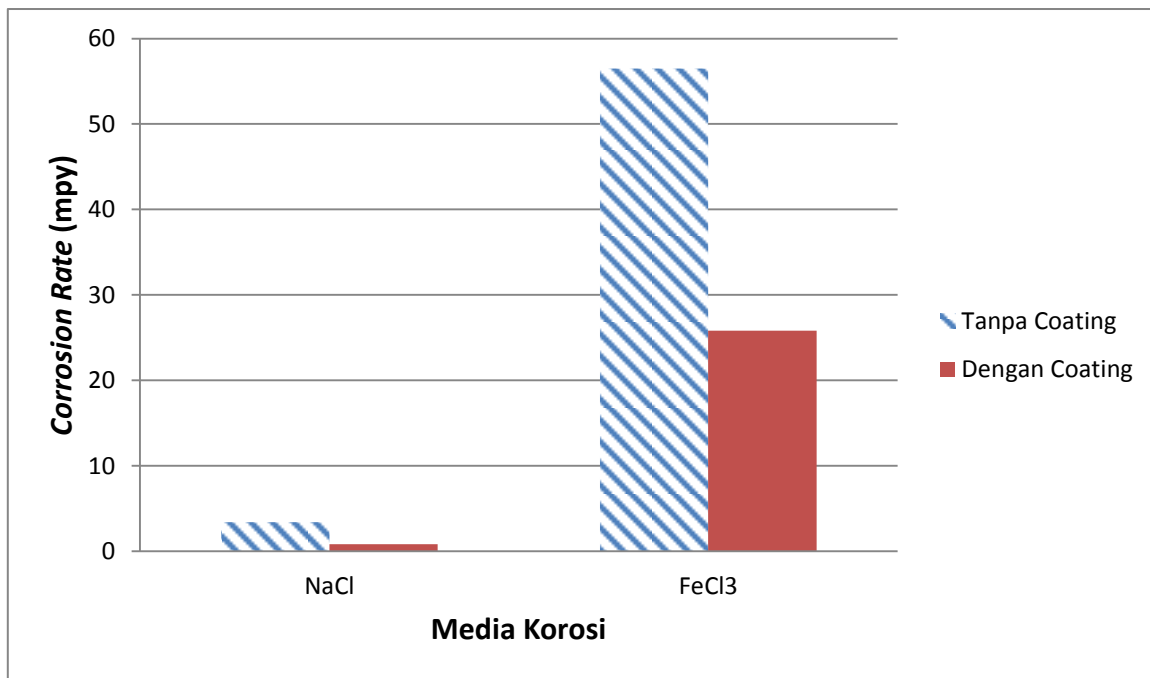
Dari hasil pengujian laju korosi, didapatkan hasil laju korosi dari spesimen dalam beberapa media korosi yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.5 Pengujian Laju Korosi pada Spesimen

Nama Spesimen	Larutan	Keterangan	<i>Corrosion Rate</i> (mpy)
NTC	NaCl 3,5%	Tanpa <i>Coating</i>	3,4018
NDC	NaCl 3,5%	Dengan <i>Coating</i>	0,82871
FTC	FeCl ₃ 5%	Tanpa <i>Coating</i>	56,508
FDC	FeCl ₃ 5%	Dengan <i>Coating</i>	25,8

Berdasarkan pengujian laju korosi yang terdapat pada tabel 4.5, didapatkan nilai laju korosi dari spesimen yang diuji dalam media korosi berupa NaCl 3,5% berlapis *coating* adalah sebesar 0,82871 mpy. Untuk spesimen tanpa *coating* yang diuji dalam NaCl 3,5 % memiliki nilai laju korosi sebesar 3,4018 MPa. Dengan kata lain, nilai laju korosi dari spesimen yang dilapisi *coating* lebih kecil 24,36% dari nilai laju korosi spesimen yang diuji dalam media korosi NaCl 3,5% tanpa *coating*. Sedangkan, nilai laju korosi dari spesimen yang diuji dalam media korosi berupa FeCl₃ 5% berlapis *coating* adalah sebesar 25,8 mpy. Jika dibandingkan dengan laju korosi dari spesimen yang diuji dalam media korosi berupa FeCl₃ 5% tanpa *coating* yang bernilai 56,508 mpy, nilai laju korosinya lebih kecil 45,66%.

Dari hasil pengujian tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa *coating polyurethane* mampu mereduksi laju korosi jika dibandingkan dengan material yang tidak dilapisi oleh *coating*. Penggunaan *coating* mampu mencegah korosi yang terjadi pada material. Hal ini tentu akan berpengaruh pada umur material atau dalam hal ini menambah umur operasi dari pipa.



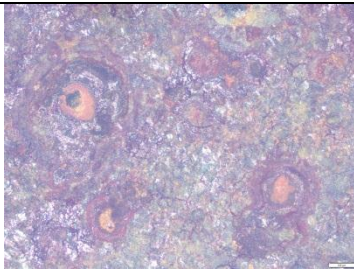
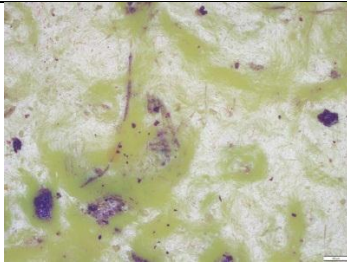
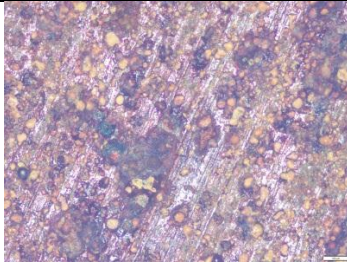
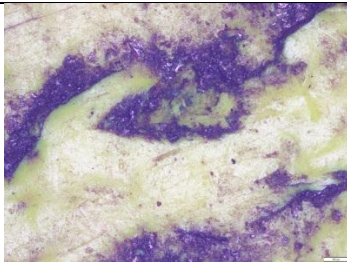
Grafik 4.2 Perbandingan Laju Korosi pada Beberapa Media Korosi

Dari grafik di atas, semakin memperjelas bahwa spesimen yang dilapisi oleh *coating* memiliki nilai laju korosi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak dilapisi. Namun jika dilihat, spesimen yang diuji pada media korosi FeCl₃ masih memiliki nilai laju korosi yang cukup besar. Sehingga, dapat dikatakan bahwa *coating polyurethane* tidak bekerja dengan baik pada lingkungan yang berklorida. Untuk spesimen yang diuji pada media korosi NaCl cenderung memiliki nilai laju korosi yang kecil. Bahkan untuk spesimen yang dilapisi *coating* memiliki nilai laju korosi di bawah 1 mpy sehingga dapat dikatakan sangat bagus. Jadi, *coating polyurethane* bekerja baik pada lingkungan laut.

4.4 Pengujian Morfologi

Dari hasil pengujian morfologi terhadap spesimen yang diuji korosi sebelumnya, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Morfologi pada Spesimen yang Diuji Korosi

Nama Spesimen	Larutan	Gambar	Keterangan
NTC	NaCl		Tanpa <i>Coating</i>
NDC	NaCl		Dengan <i>Coating</i>
FTC	FeCl ₃		Tanpa <i>Coating</i>
FDC	FeCl ₃		Dengan <i>Coating</i>

Dilihat dari hasil foto yang terdapat pada tabel 4.6, tampak bahwa pada material yang diuji dalam larutan NaCl 3,5% tanpa *coating* terdapat korosi jenis *uniform corrosion* pada spesimen. Sedangkan pada spesimen yang dilapisi *coating* terdapat korosi yang terjadi namun dalam jumlah yang sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa *coating* bekerja dengan baik dalam melindungi material.




Pada material yang diuji dalam larutan FeCl_3 5% tanpa *coating*, terlihat bahwa terdapat banyak korosi yang terjadi. Jenis korosi yang jelas terlihat pada spesimen adalah korosi jenis *pitting* dan juga *crevice*. Berdasarkan ASTM G48, sebuah spesimen yang diuji laju korosinya dalam larutan FeCl_3 akan mengalami korosi *pitting* dan *crevice*. Hal ini dapat terjadi karena FeCl_3 merupakan senyawa yang tergolong bersifat korosif, terutama bila dimasukkan ke dalam cairan. Dalam penelitian ini, FeCl_3 yang dimasukkan ke dalam aquades menghasilkan larutan yang bersifat korosif. Pada spesimen yang sudah dilapisi *coating* juga terlihat bahwa korosi mulai menyerang, sehingga *coating* tidak dapat bekerja dengan baik pada lingkungan yang mengandung klorin. Hal ini terlihat dari hasil pengujian laju korosi di mana nilai laju korosi spesimen yang diuji di dalam larutan FeCl_3 cukup besar.

4.5 Pengujian Morfologi pada Spesimen yang Diuji Ketahanan Panas


Pada pengujian sebelumnya, telah dilakukan pengamatan terhadap spesimen yang diuji ketahanan panasnya. Dari hasil pengamatan, diketahui bahwa spesimen yang dipanaskan pada suhu di atas 100°C mengalami pemudaran warna pada *coating* yang melapisi spesimen. Namun, pemudaran warna ini tidak sampai menyebabkan *coating* mengelupas dari material.

Untuk lebih mengetahui pengaruh panas terhadap *coating*, dilakukan pengujian morfologi terhadap spesimen yang telah diuji ketahanan panas sebelumnya. Pengujian dilakukan untuk mengamati seberapa meresapkah *coating* pada material dan pengaruh panas terhadap *coating*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *stereo microscope* dengan perbesaran $100\ \mu\text{m}$.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Morfologi pada Spesimen yang Diuji Ketahanan Panas

Nomor	Suhu	Hasil Foto Mikro
1	50 ⁰ C	
2	100 ⁰ C	
3	150 ⁰ C	

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Morfologi pada Spesimen yang Diuji Ketahanan Panas

4	200 ⁰ C	
---	--------------------	--

Dari hasil foto pada tabel 4.7, dapat dilihat bahwa pada suhu 50⁰C, *coating* masih menyerap pada material. Hal ini juga masih terjadi pada spesimen yang dipanaskan pada suhu 100⁰C. Ketika spesimen mulai dipanaskan pada suhu 150⁰C, mulai terlihat bahwa resapan *coating* pada material berkurang jika dibandingkan dengan sebelumnya. Hal ini berlanjut pada spesimen yang dipanaskan pada suhu 200⁰C. Akibat dari pengurangan resapan *coating* ini adalah jumlah *coating* yang berada di permukaan spesimen juga ikut berkurang. Hal inilah yang menyebabkan pada pengamatan saat pengujian ketahanan panas, *coating* nampak mulai memudar pada suhu di atas 100⁰C. Namun apabila dilihat, *coating* masih meresap ke dalam spesimen. Jadi, oleh sebab itu *coating* tidak sampai terkelupas dari spesimen ketika dipanaskan.

4.6 Penambahan Spesimen Uji Adhesi *Pull-Off Test*

Pada pengujian Adhesi sebelumnya, telah didapatkan hasil pengujian sebagai berikut :

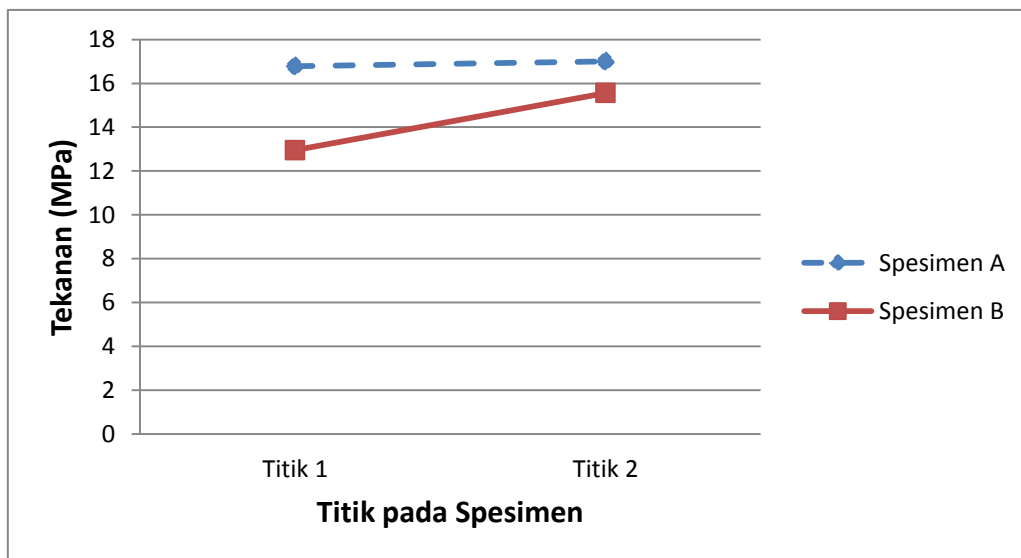
Tabel 4.8 *Pull-Off Test* Spesimen A

SPESIMEN A	
Titik 1	Titik 2
16,78 MPa	17,00 MPa

Tabel 4.9 *Pull-Off Test* Spesimen B

SPESIMEN B	
Titik 1	Titik 2
12,95 MPa	15,56 MPa

Dari hasil pengujian tersebut, didapatkan bahwa pada tiga titik pengujian diperoleh hasil adhesi yang memenuhi standar dari *finishing coat* yaitu lebih besar dari 14 MPa. Namun, pada satu titik didapatkan hasil adhesi yang tidak memenuhi. Selain itu juga, perbedaan hasil dari Spesimen A dan Spesimen B terpaut jauh.



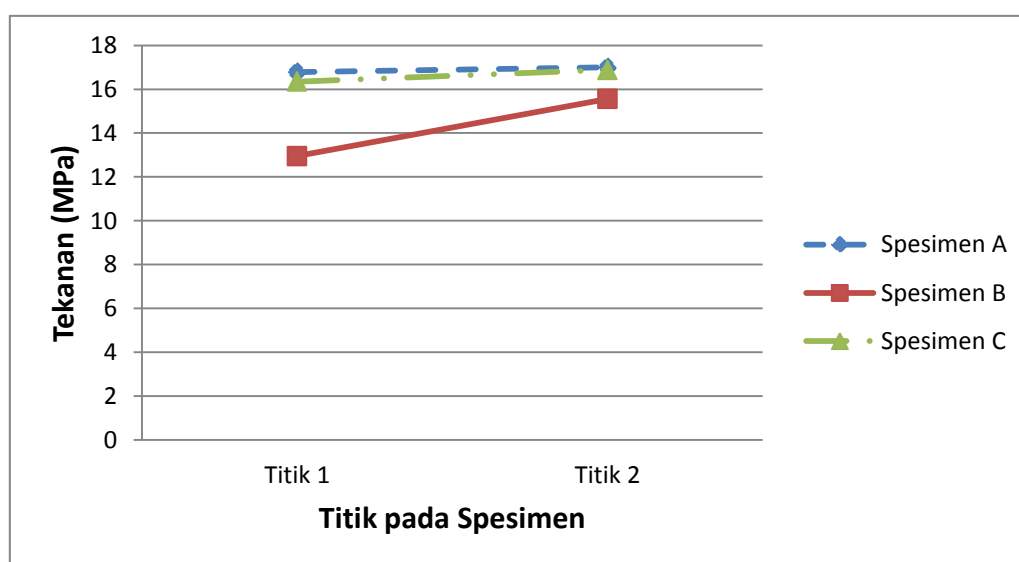
Grafik 4.3 Perbedaan Hasil Pengujian Adhesi *Pull-Off Test* pada Spesimen A dan B

Oleh karena itu, dilakukan penambahan 1 spesimen uji untuk mendapatkan nilai rata-rata dari adhesinya. Spesimen uji ketiga diberi nama Spesimen C. Pada spesimen C dilakukan uji adhesi pada 2 titik sama seperti pada Spesimen A dan Spesimen B. Dari hasil pengujian terhadap spesimen C, didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.10 *Pull-Off Test* Spesimen C

SPESIMEN C	
Titik 1	Titik 2
16,35 MPa	16,88 MPa

Dari hasil pengujian, didapatkan hasil adhesi Spesimen C sebesar 16,35 MPa pada Titik 1 dan 16,88 pada Titik 2. Hasil adhesi yang diperoleh pada Spesimen C memenuhi standar dari *finishing coat* karena hasil adhesi yang didapatkan lebih besar dari pada 14 MPa.

Grafik 4.4 Hasil Pengujian Adhesi *Pull-Off Test* pada Spesimen A, B, dan C

Pada grafik 4.4, dapat dilihat bahwa hasil pengujian adhesi pada Spesimen A terpaut dari spesimen B dan Spesimen C. Namun, pada Spesimen B dan Spesimen C hasilnya cukup dekat yaitu berada di kisaran 16 MPa sampai dengan 18 MPa. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa coating polyurethane memiliki kekuatan adhesi di kisaran 16 MPa sampai dengan 17 Mpa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan antara lain :

1. *Coating polyurethane* dapat digunakan sebagai lapisan akhir atau penutup (*finishing coat*) karena daya lekatnya yang memenuhi standar *finishing coat* yaitu sebesar 14 MPa. Pada penelitian ini, didapatkan hasil daya lekat *coating polyurethane* yaitu di kisaran 16 MPa sampai dengan 17 MPa.
2. *Coating Polyurethane* dapat dioperasikan di daerah panas karena dari hasil pengujian ketahanan panas, tidak nampak adanya lapisan *coating* yang mengelupas pada saat dipanaskan. Hanya terjadi pemudaran warna pada suhu di atas 100⁰C.
3. *Coating polyurethane* bekerja baik di lingkungan laut. Hal ini dibuktikan dengan hasil laju korosi pada larutan NaCl 3,5% di mana laju korosi yang terjadi adalah 0,8 mpy. Sedangkan *coating* ini tidak dapat dioperasikan pada lingkungan yang mengandung klorin dikarenakan *coating polyurethane* memiliki laju korosi sebesar 25,8 mpy pada larutan FeCl₃.

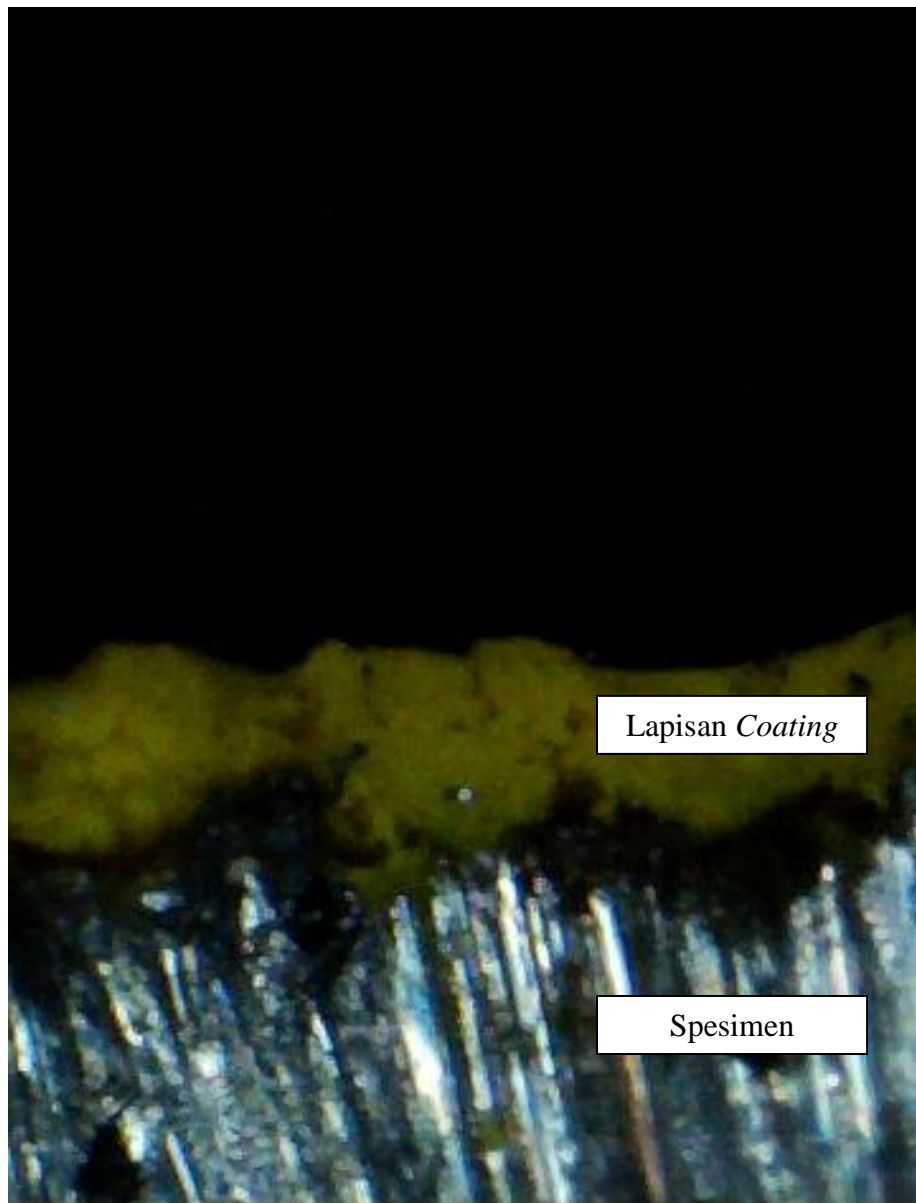
5.2 Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan penulis, masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis memberikan saran-saran yang dapat dijadikan masukan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Memperhitungkan *dust particle* pada material
2. Melakukan uji adhesi pada baja yang dilapisi *polyurethane* yang diberi perlakuan panas.
3. Menguji *coating polyurethane* pada media korosi yang lain seperti dengan H₂S.
4. Membandingkan *coating polyurethane* dengan *coating* jenis lain.
5. Mencoba ketebalan *coating* yang bervariasi.
6. Membandingkan metode pengaplikasian *coating* dengan cara *brush*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggaretno, Gita. 2012. “Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl_3 ”. **Tugas Akhir**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ASTM D4541. 2002. “*Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*”. ASTM International.
- ASTM G48. 2015. “*Standard Test Method for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steel and Related Alloys by Use of Ferric Chloride*”. ASTM International.
- Budiarfy. 2011. “Pengaruh Rasio Polyol dan Isocyanate terhadap Properti Coating Polyurethane”. **Tugas Akhir**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chandler, Kenneth A. 1985. *Marine and Offshore Corrosion*. London: Butterworth & Co Ltd Publisher.
- Dewi, Ika Marcelina Sari. 2011. “Studi Perbandingan Laju Korosi dengan Variasi Cacat Coating pada Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi NaCl ”. **Tugas Akhir**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Falakh, Irwan Fajrul. 2010. “Analisa Laju Perambatan Retak untuk Jenis Korosi SCC pada Pipeline akibat Unsur H_2S ”. **Tugas Akhir**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahayu, Novita Dwi. 2010. ”Studi Laju Korosi pada Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 dengan Variasi Kecepatan Media”. **Tugas Akhir**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahuma, Mohammed Nuri and Bobby Kannan. 2014. “*Corrosion in Oil and Gas Industry: A Perspective on Corrosion Inhibitors*”. **Jurnal**. Queensland: James Cook University.
- Roberge, Pierre R. 2008. *Corrosion Engineering : Principles and Practice*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Samimi, Amir. 2012. “*Use of Polyurethane Coating to Prevent Corrosion in Oil and Gas Pipelines Transfer*”. **Jurnal**. Mahshahr: Islamic Azad University.
- Trethewey, K. R. & Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Zakharov, B. 1962. *Heat Treatment of Metal*. Moscow: Peace Publisher.

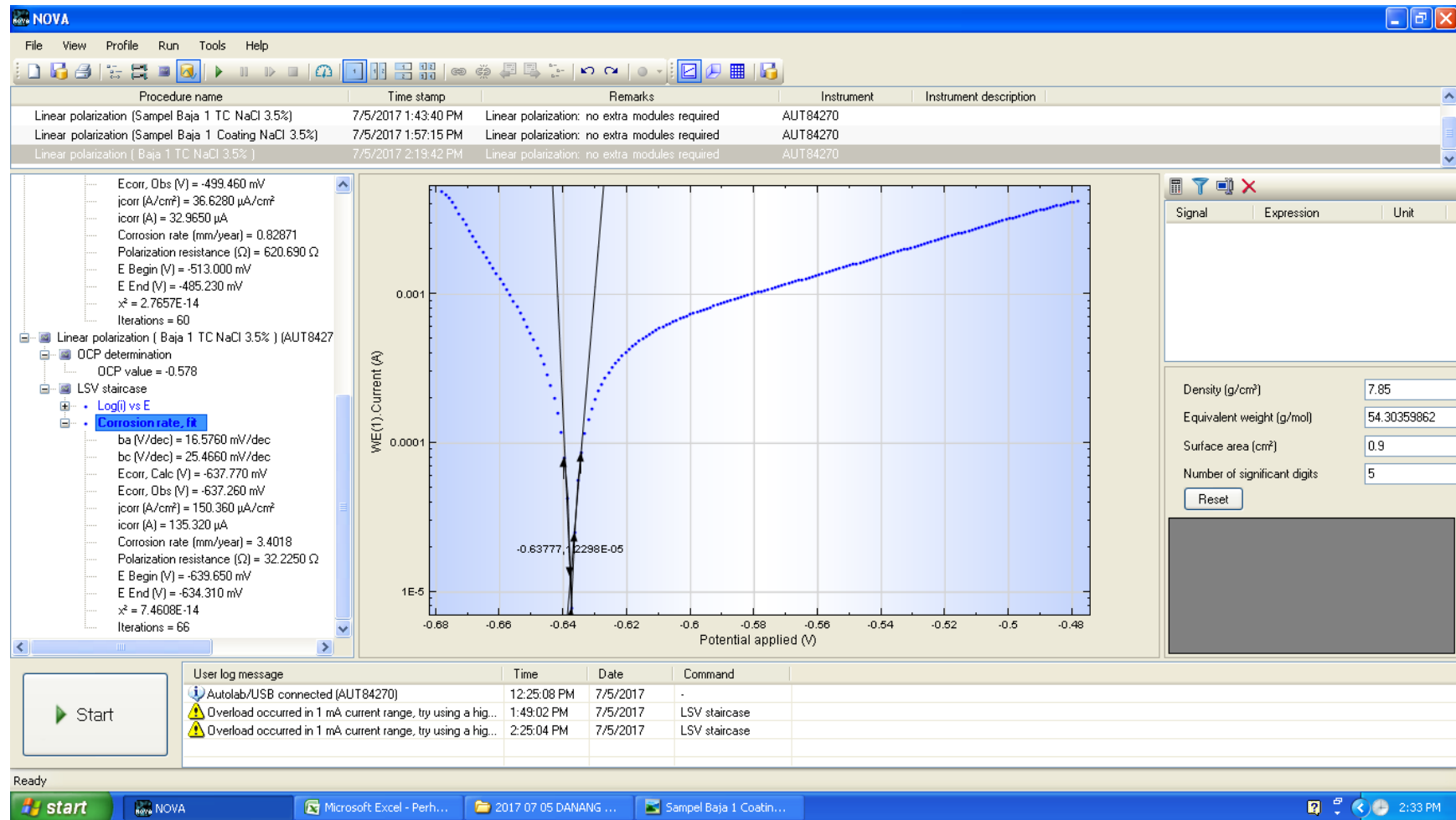


Gambar 1. Foto Mikro Batas *Coating*

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Baja 1 Tanpa Coating

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

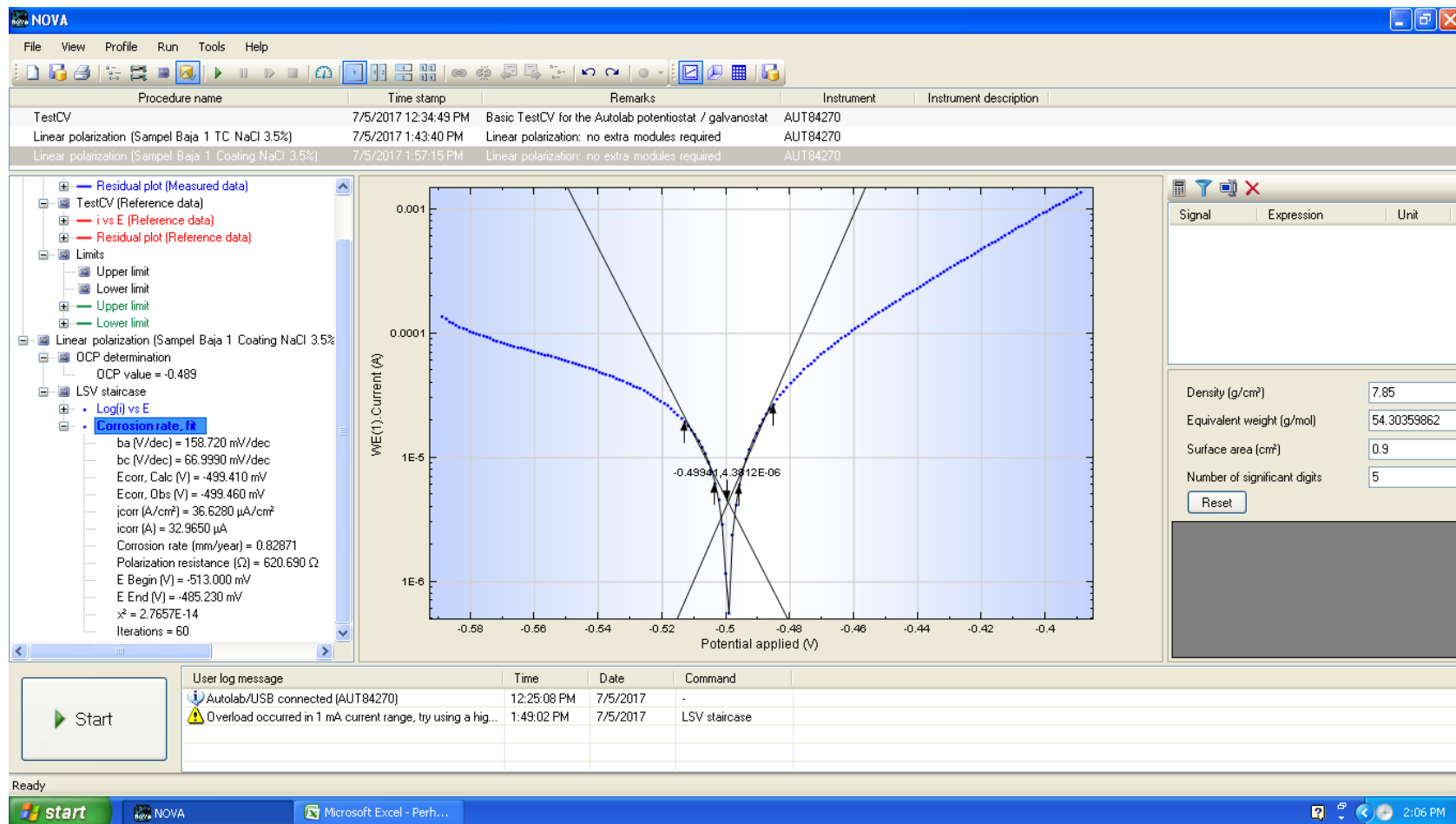


Gambar 2. Hasil Laju Korosi Baja 1 Tanpa Coating

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Baja 1 Coating

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

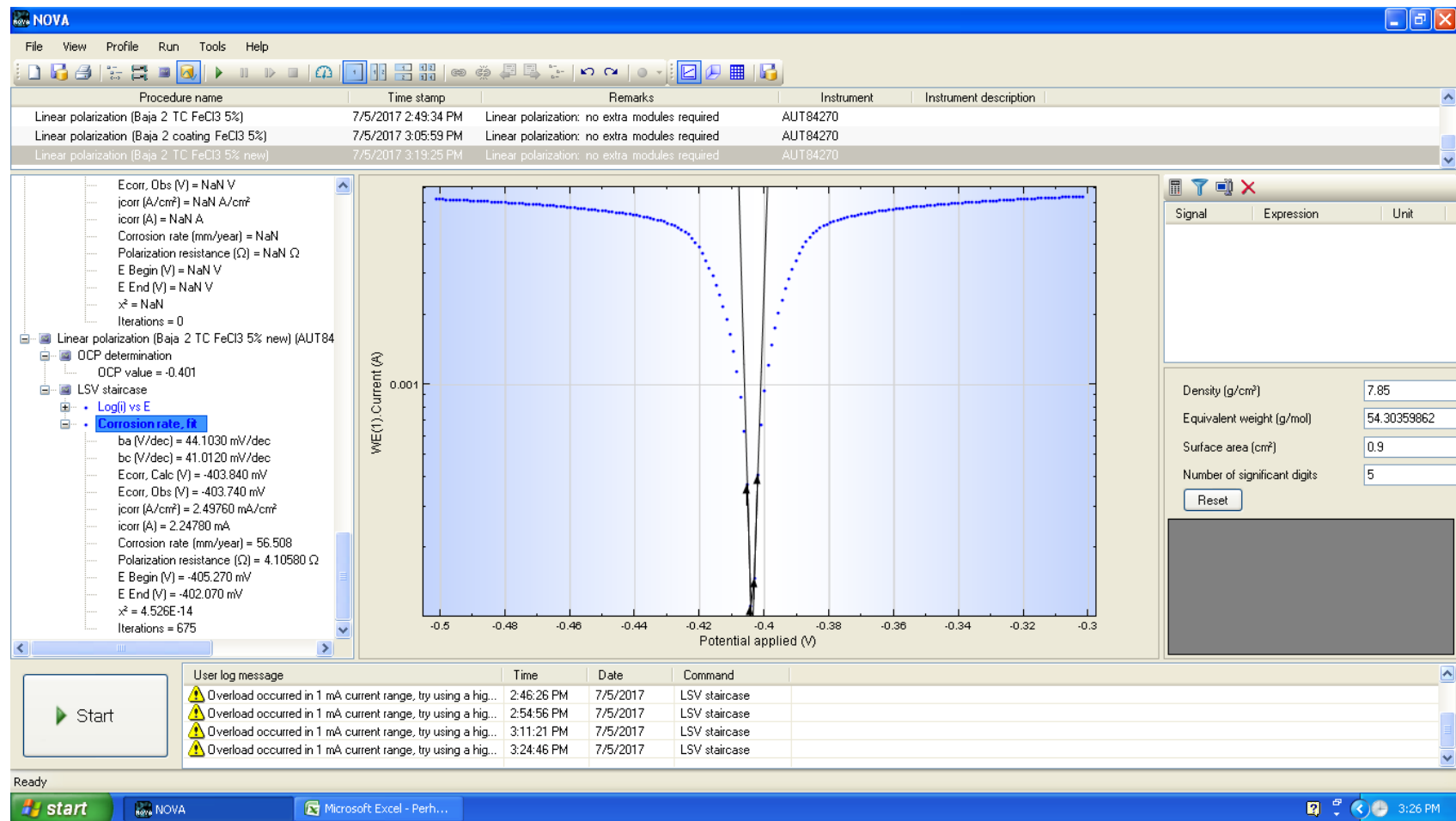


Gambar 3. Hasil Laju Korosi Baja 1 Coating

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Baja 2 Tanpa Coating

Larutan elektrolit : FeCl3 5%

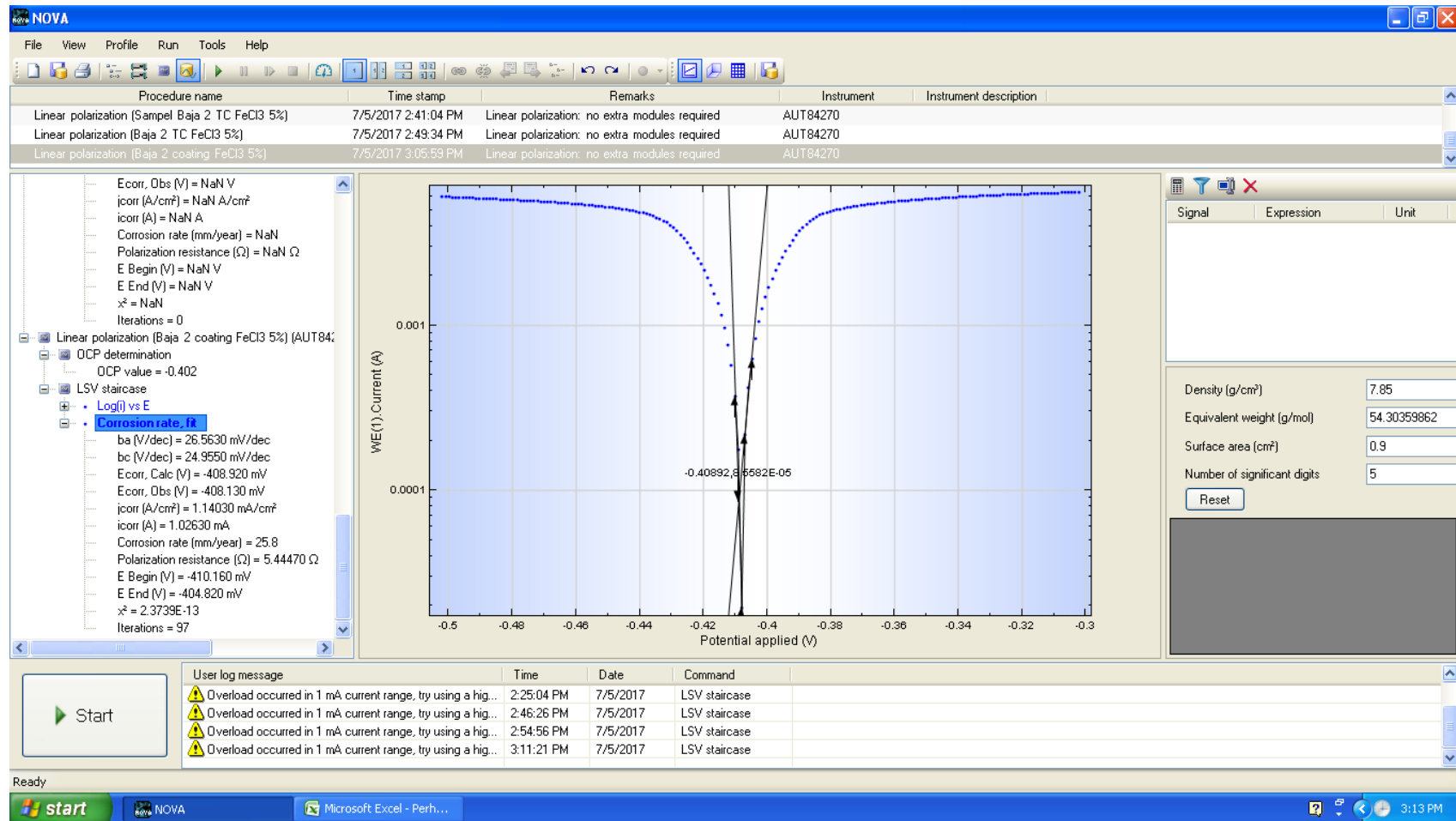


Gambar 4. Hasil Laju Korosi Baja 2 Tanpa Coating

Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : Baja 2 Coating

Larutan elektrolit : FeCl3 5%



Gambar 5. Hasil Laju Korosi Baja 2 Coating

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Danang Kinarya Widawardhana. Lahir di Surabaya pada tanggal 24 Oktober 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Edi Triwardhana dan Retno Widawati. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Laboratorium UNESA Surabaya. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 12 Surabaya. Setelah lulus dari Sekolah Menengah Pertama, penulis melanjutkan jenjang pendidikan di SMA Negeri 15 Surabaya. Selepas lulus SMA, penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan diterima di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan.

Selama kuliah, penulis aktif di beberapa kegiatan kepanitiaan kampus baik tingkat Departemen, Fakultas, maupun Institut seperti OCEAN GAMES, OCEANO, dan ITS EXPO.

Pada April 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Citra Mas yang berlokasi di Surabaya, Jawa Timur. Kerja Praktek dilakukan selama 2 bulan. Penulis ditempatkan pada Divisi Konstruksi selama melaksanakan Kerja Praktek di PT. Citra Mas.